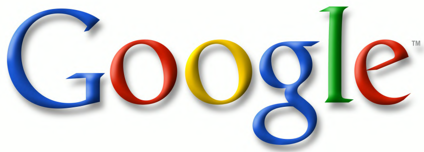
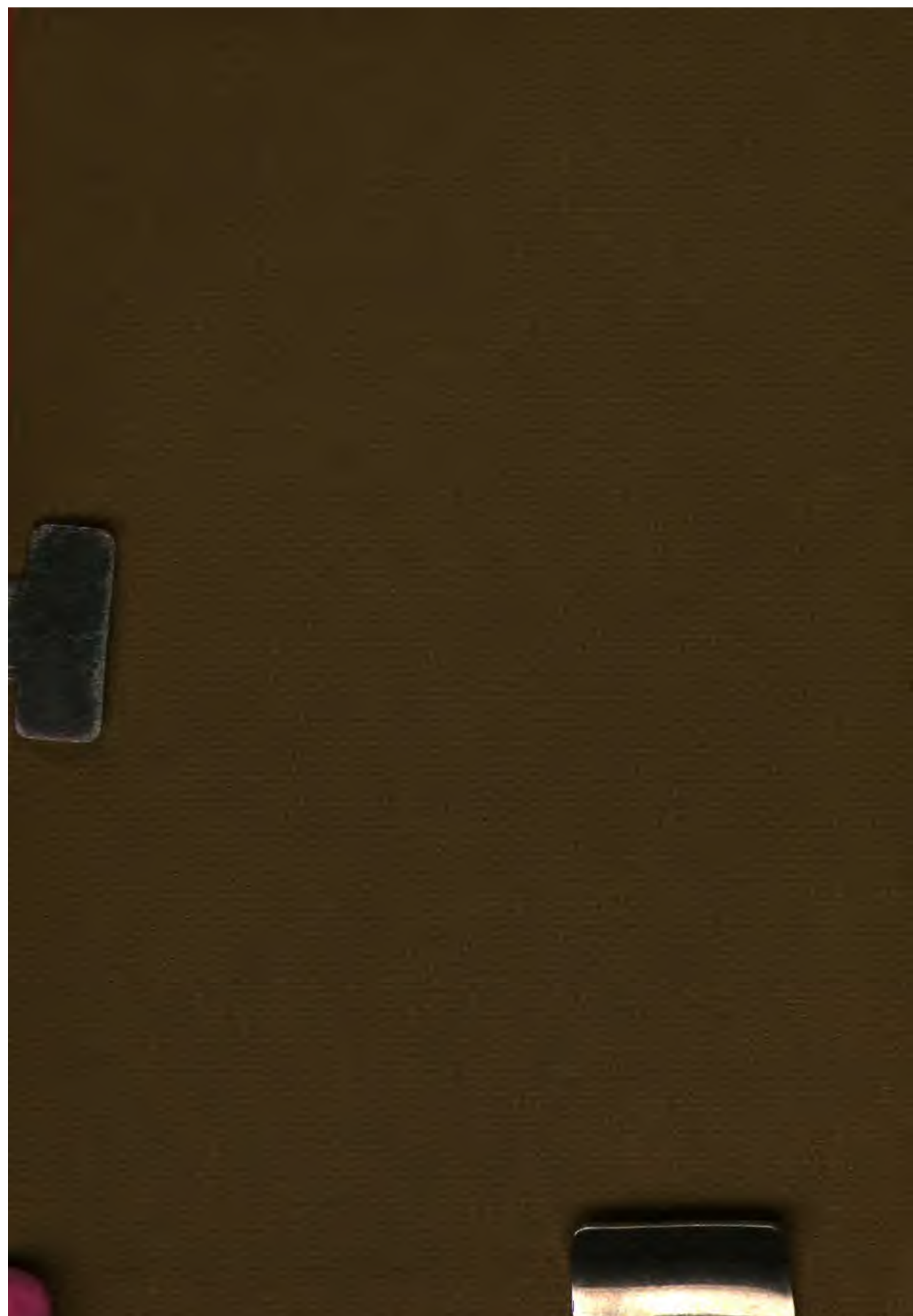

Google

ERNST RUHMER

Konſtruktion, Bau u. Betrieb von Funkeninduktoren

mit Berücksichtigung der Rœntgenstrahlentechnik



Konstruktion, Bau und Betrieb von

Funkeninduktoren

und deren Anwendung,

mit besonderer Berücksichtigung der

Roentgenstrahlentechnik

Von

Ernst Ruhmer

I. Teil: Funkeninduktoren

2. neu bearbeitete und erweiterte Auflage

Mit 328 Abbildungen

1913

Nikolassee b. Berlin

Administration der Fachzeitschrift „Der Mechaniker“

Vorwort zur 2. Auflage.

Vorliegende zweite Auflage meines Funkeninduktoren-Buches weist gegenüber der ersten Auflage zahlreiche Ergänzungen und Erweiterungen auf, die einerseits auf an mich ergangene diesbezügliche Anfragen aus dem Leserkreise zurückzuführen sind, andererseits durch die zahlreichen auf diesem Spezialgebiet in den letzten Jahren erzielten Fortschritte und bekannt gewordenen Neuerungen bedingt wurden. Bemerkt sei an dieser Stelle, daß trotz Aufnahme der neuesten Apparate-Konstruktionen auch die Beschreibung der älteren und meist auch veralteten beibehalten wurde, einesteils, weil in diesem oder jenem Laboratorium noch solche ältere Apparate vorhanden sein werden, anderen Teils, weil es stets lehrreich ist, die allmähliche Entwicklung bestimmter Apparatetypen von den ersten Stufen ab kennen zu lernen. In der Tat lassen sich oft nur so die im Laufe der Zeit erzielten Fortschritte gebührend würdigen und die Fehler älterer Konstruktionen bei neuen Apparaten vermeiden.

Um eine Irreleitung von Interessenten, die zum erstenmal mit diesem Gebiet in Berührung kommen, trotz der auf diese Weise hervorgerufenen Fülle der beschriebenen Apparate zu vermeiden, habe ich mich bemüht, auf die Vor- und Nachteile jeder Konstruktion besonders hinzuweisen. Der Anhang über die Grundzüge der medizinischen Roentgentechnik, der der 1. Auflage beigegeben war, wurde nicht wieder aufgenommen, einerseits, um Platz für die erweiterte technische Darstellung zu gewinnen, andererseits, weil es eine Reihe überaus klarer Darstellungen der medizinischen Roentgentechnik gibt, die dieses Gebiet erschöpfender behandeln, als es in einem Anhang zu einem technischen Werke geschehen kann.

Das lebhafte Interesse, welches viele Leser der ersten Auflage des Buches wiederholt an den Tag legten und der überaus schnelle Absatz derselben, haben die in dem Vorwort zur ersten Auflage zum Ausdruck gebrachten Erwartungen bei weitem übertroffen.

Ich gebe mich daher der Hoffnung hin, daß auch diese neue verbesserte Auflage, die ihres wesentlich erhöhten Umfanges wegen in zwei Teilen herausgegeben wird, trotz ihres späten Erscheinens (die erste Auflage war seit Jahren vergriffen!) eine ebenso freundliche Aufnahme finden und ein gleich lebhaftes Interesse wecken möge.

Endlich ist es mir eine angenehme Pflicht, auch an dieser Stelle allen denen, die mich bei vorliegender Neubearbeitung unterstützt haben, meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Berlin, im Dezember 1912.

Ernst Ruhmer

Vorwort zur 1. Auflage.

Mit der vielseitigen Anwendung der Roentgenstrahlen ist ein ganz neuer Zweig der Elektrotechnik ins Leben gerufen worden, der sich infolge der zahlreichen Verbesserungen und Vervollkommnungen der betreffenden Apparate innerhalb weniger Jahre zu einer besonderen Roentgenstrahlen-Technik ausgebildet hat.

Vorliegende Schrift gibt zunächst eine allgemein verständliche, ausführliche Uebersicht über die Entwicklung der Induktionsapparate, Funkeninduktoren und Unterbrecher, mit besonderer Berücksichtigung der Konstruktion und des praktischen Baues moderner größerer Induktoren und deren Betrieb.

In einem zweiten Abschnitt werden die Anwendung der Apparate zur Erzeugung der Roentgenstrahlen und die erforderlichen Nebenapparate eingehend besprochen.

Den Schluß bildet eine kurze Abhandlung über Tesla-Apparate und Erscheinungen, weil diese einmal dazu berufen erscheinen, in einem Resonanzinduktorium die Entwicklung der Funkeninduktoren zu beschließen.

Der dem Buche beigegebene Anhang, welchen Herr Dr. Schürmayer zu übernehmen die Freundlichkeit hatte, gibt einen kurzen Ueberblick über die Grundzüge der medizinischen Roentgentechnik und dürfte namentlich dem dieselbe ausübenden Anfänger willkommen sein. Da die bedeutendsten Erfindungen und Konstruktionen auch der neuesten Zeit berücksichtigt wurden, so kann vorliegendes Buch nicht allein dem nichtfachmännischen Benutzer einer Roentgeneinrichtung zur Orientierung dienen, sondern auch, wie ich hoffe, dem Fachmann als Nachschlagebuch auf dem Funkeninduktoren- und Roentgenstrahlen-Gebiete nützlich sein.

Berlin, im Dezember 1903.

Ernst Ruhmer

Inhaltsverzeichnis

Teil I: Funkeninduktoren.

Inhaltsverzeichnis vom
II. Teil: Roentgenstrahlentechnik
befindet sich hinter Seite 232.

Literatur.

1. **Bücher:**

Albers-Schöneberg, H. Dr., Die Roentgentechnik, 1. Auflage. Hamburg 1903, 3. Aufl. 1910.

Allsop, F. C., Inductions coils and coil making. 4. Aufl. London 1902 und New-York 1902.

Armagnat, H., La bobine d'induction. Paris 1905.

Bonney, G. E., Induction coils. 2. Auflage. London 1901.

Collins, A. Frederick, The design and construction of induction coils. New-York 1909.

Dessauer, F., und Dr. B. Wiesner, Leitfaden des Roentgen-Verfahrens. 1. Auflage. Berlin 1903.

Donath, Dr. B, Die Einrichtungen zur Erzeugung der Roentgenstrahlen und ihr Gebrauch. 1. Auflage Berlin 1899, 2. Auflage 1903.

Fürstenau, Dr. Rob., Die Technik der Roentgenapparate. Hannover.

Guillaume, Ch. Ed., Les rayons X. Paris 1897.

Haller, George F., and Elmer Tiling Cunningham, The Tesla high frequency coil. New York 1910.

Hare, A. T., The construction of large induction coils. London 1900.

Isenthal, A. W., and H. Snowden Ward, Practical Radiography. 3. Auflage. London 1901.

Kosack, E., Heinrich Daniel Ruhmkorff. Ein Lebensbild zu seinem 100. Geburtstage. Leipzig und Hannover 1903.

Londe, A., Traité pratique de radiographie et de radioscopie. Paris 1898.

Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik. 9. Auflage. Braunschweig 1888-1890.

Norrie H. S., (Norman H. Schneider), Induction coil, how to make, use and repair them. 2. Auflage. London 1901.

Secor, H. Winfield, Construction of induction coils and transformers. New York.

Stechow, Dr., Das Roentgen-Verfahren, Berlin 1903.

Walsh, David, The Roentgen rays in medical work. 3. Auflage. London 1902.

Weiler, W., Die galvanischen Induktionsapparate. 2. Auflage. Leipzig 1912.

Wright, Lewis, The induction coil in practical work. London 1897.

2. **Zeitschriften:**

Annalen der Physik. — Der Mechaniker. — Elektrophysikalische Rundschau. — Elektrotechnische Zeitschrift. — Fortschritte auf dem Gebiete der Roentgenstrahlen. — Physikalische Zeitschrift.

3. **Kataloge** der im Text aufgeführten Firmen.

Erstes Kapitel.

Einleitung.

Obwohl es bis heute noch nicht gelungen ist, eine allgemein gültige Theorie der Funkeninduktoren aufzustellen, welche es ermöglicht, der Konstruktion dieser Apparate eine Berechnung der günstigsten Verhältnisse zugrunde zu legen, und daher die empirische Methode die allein anwendbare ist, so sind doch, namentlich mit der Technik der Roentgenstrahlen, eine Reihe von Vervollkommnungen herbeigeführt worden, die in der mechanischen und elektrischen Durchbildung der Induktoren, besonders in der Verminderung der Größe und des Gewichts derselben bei gleichzeitiger Erhöhung des Nutzeffekts bestehen. Durch Verwertung der in der Transformatorentechnik gesammelten Erfahrungen haben die Funkeninduktoren den Charakter eines Laboratoriuminstrumentes verloren, sie werden jetzt in der Praxis vielseitig angewendet und genügen denselben Anforderungen, welche man an die Erzeugnisse der Elektrotechnik zu stellen gewöhnt ist. Durch die Einführung hochgespannter Betriebsströme und die Erfindung der Starkstromunterbrecher sind die Funkeninduktoren auf eine Leistungsfähigkeit gebracht worden, die man früher nicht für möglich gehalten hätte.

Es ist deshalb von allgemeinem Interesse, die Konstruktion der heutigen Funkeninduktoren, der Unterbrecher und sonstigen Nebenapparate kennen zu lernen, um diese Kenntnis beim Bau neuer, beziehungsweise Betrieb vorhandener Apparate nützlich zu verwerten.

Ehe wir jedoch auf die Konstruktion der in Frage kommenden Apparate eingehen, möchten wir einen kurzen historischen Rückblick geben, um auch dem Laien das Verständnis für dieselben zu erschließen.

In der langen Reihe bedeutungsvoller Arbeiten auf dem Gebiete der Elektrizität, die dem großartigen Aufschwunge der modernen Elektrotechnik die Wege geebnet haben, leuchten einzelne Leistungen genialer Forscher besonders hervor, und unter diesen stehen wiederum die Arbeiten von Michael Faraday obenan, den man mit Recht als den „Vater der

Elektrotechnik" bezeichnet hat. Er entdeckte nämlich (1832) jenen geheimnisvollen Vorgang der elektrischen Induktion, der es uns ermöglicht, Elektrizität durch mechanische Kraft zu erzeugen, die menschliche Stimme durch einen Leitungsdraht nach entfernten Orten zu übertragen und gewaltige Naturkräfte fern von ihrem Entstehungsorte in den Dienst der Menschheit zu zwingen. Die elektrische Induktion eines galvanischen Stromes ist es auch, auf der alle Funkeninduktoren, mit denen wir uns im folgenden beschäftigen wollen, beruhen, und es ist deshalb notwendig, uns das Wesen dieser Induktion klar zu machen.

1. Elektroinduktion.

Schickt man durch einen die Elektrizität leitenden Körper, z. B. einen Metalldraht, der in Form einer Spirale aufgewickelt ist, einen galvanischen Strom, so machen sich in der Nähe dieser Spirale elektromagnetische Wirkungen bemerkbar, die so lange anhalten, als der Strom die Spirale durchfließt. Von diesen elektromagnetischen Wirkungen soll hier zunächst nicht die Rede sein. Es zeigt sich aber noch eine zweite Klasse von Erscheinungen, die nur in den Momenten auftreten, in welchen der durchfließende Strom sich ändert, also wenn er stärker oder schwächer wird, wenn er beginnt oder aufhört, oder seine Richtung umkehrt; in allen diesen Fällen entsteht in einem benachbarten Leiter, z. B. in einer zweiten, die erste nirgends berührenden Spirale, ein momentaner elektrischer Strom, den man Induktionsstrom nennt. Dieser Induktionsstrom ist bei Stromschluß oder einer Stromzunahme des erregenden Stromes, den man auch Hauptstrom, induzierenden oder primären Strom nennt, diesem letzteren entgegengesetzt gerichtet (Figur 1), bei Stromöffnung dagegen dem Hauptstrome gleichgerichtet (Figur 2). — Je größer die Stromänderung im primären Stromkreise ist, oder je schneller sie erfolgt, desto kräftiger ist der Induktionsstrom, eine um so höhere Spannung besitzt er.



Figur 1.

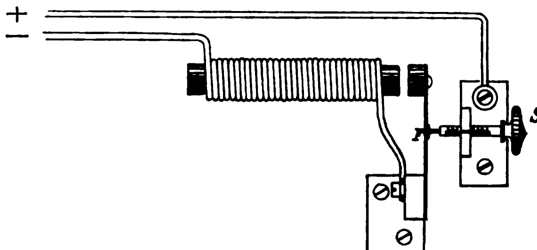


Figur 2.

2. Unterbrecher.

Um in dem sekundären Stromkreise eine schnelle Aufeinanderfolge abwechselnd entgegengesetzt gerichteter Induktionsströme zu erhalten, hat man nur dafür zu sorgen, daß der primäre Strom sich schnell ändert. Während man in der Elektrotechnik bei den Transformatoren Wechselströme anwendet, bedient man sich für den gleichen Zweck beim Betriebe von Induktionsapparaten meist unterbrochener Gleichströme.

Zur schnell aufeinander folgenden Unterbrechung der Gleichströme wendet man selbsttätige Unterbrechungsvorrichtungen, kurz „Unterbrecher" genannt, an, deren einfachste und älteste Form (1837) der Neef-Wagnersche Hammer ist (Figur 3).

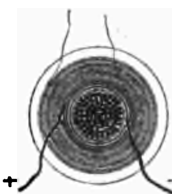


Figur 3.

Der Strom geht von der Betriebsbatterie durch die um einen Eisenkern gewickelte Primärspule in den Anker einer mit Platinkontakt versehenen Blattfeder *F* und durch die Platinspitze einer Stellschraube *S* zur Batterie zurück. Da der Eisenkern beim Stromdurchgang durch die Spule magnetisch wird, zieht er den Anker an; dadurch wird der Strom an der Platinspitze der Stellschraube unterbrochen. Nunmehr erlischt auch die Magnetisierung des Eisenkerns und die Feder mit dem Anker kehrt in ihre frühere Lage zurück. Der Strom wird nun von neuem geschlossen. Dieses Spiel wiederholt sich in Zeiten, die der Schwingungsdauer der Feder entsprechen.

3. Elektromagnetische Induktion, Induktionsapparat.

Denkt man sich um die den Eisenkern umgebende primäre Spule eine zweite, sekundäre Wicklung gelegt, so entstehen in dieser wechselstromartige Induktionsströme. Ein derartiger Apparat stellt den Grundtypus aller Induktionsapparate (Figur 4) dar; seine Leistung würde aber, da noch einige wesentliche Punkte unberücksichtigt blieben, eine sehr geringe sein.



Figur 4.

4. Selbstinduktion, Selbstinduktionsströme.

Der primäre Strom erregt nämlich bei seinem Beginn und seinem Aufhören nicht nur in der sekundären Spulenwicklung Induktionsströme, sondern auch in den primären Windungen, da jede einzelne Windung der primären Spule induzierend auf die benachbarten Windungen wirkt. Man nennt dies Selbstinduktion, und die dadurch hervorgerufenen Ströme Selbstinduktions- oder nach Faraday Extraströme. Natürlich sind diese Selbstinduktionsströme, wie die Induktionsströme in benachbarten Leitern, beim Stromschlusse dem Hauptstrome entgegengesetzt gerichtet, d. h. sie schwächen den beginnenden Hauptstrom, und dem abreißenden Strome gleichgerichtet, d. h. sie verstärken den Hauptstrom im Augenblicke seines

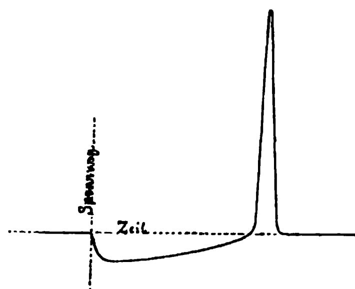
Aufhörens. Es ist klar, daß diese, den Hauptstrom in seinen Aenderungen verlangsamenden Selbstinduktionsströme der Erzeugung kräftiger Induktionsströme in der sekundären Wicklung hinderlich sein müssen. Beim Beginn des Hauptstromes läßt ihn der Schließungs-Selbstinduktionsstrom nicht plötzlich, sondern nur allmählich zur vollen Stärke ansteigen, und beim Abbrechen des Hauptstromes sucht ihn der gleichgerichtete Oeffnungs-Selbstinduktionsstrom zu verlängern. Zur Erzeugung kräftiger Induktionsströme ist aber, wie wir gesehen haben, eine möglichst schnelle Aenderung notwendig.

5. Kondensator.

Um diese schädigenden Wirkungen der Selbstinduktionsströme abzuschwächen, wird parallel zur Unterbrecherstelle ein Kondensator geschaltet. Dieser Kondensator, der aus einer größeren Anzahl von Stanniolblättern, die durch eine dünne nichtleitende Zwischenlage wie Glimmer, Papier oder desgleichen von einander isoliert sind, besteht, dient zur Aufnahme des Oeffnungs-Selbstinduktionsstromes.

6. Vorgänge in einem Induktionsapparat.

Die Vorgänge in der Hauptrolle sind demnach beim Oeffnen und Schließen des Primärstromes wesentlich verschiedene. Während die Stromstärke beim Schließen erst allmählich zu ihrer vollen Stärke anwächst, sinkt sie beim Oeffnen des Hauptstromes fast plötzlich auf Null. Da nun die Spannung der Induktionsströme von der Schnelligkeit der Hauptstromänderung abhängt, so ist bei gleicher Elektrizitätsmenge der Verlauf des sekundären Oeffnungsstromes auf eine äußerst kurze Zeit zusammengedrängt, wogegen der Schließungs-Induktionsstrom eine beträchtlich längere Dauer besitzt. Daher steigt der Oeffnungs - Induktionsstrom (vergl. die Kurve Figur 5), als der schneller verlaufende, zu bedeutend höherer Spannung an und übt dementsprechend viel stärkere physiologische Wirkungen aus als der Schließungs-Induktionsstrom.



Figur 5.

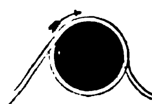
7. Eisenkern.

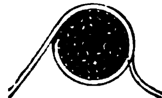
Einen wesentlichen Einfluß auf das Entstehen kräftiger Induktionsströme hat der in der primären Spule anzubringende Eisenkern. Durch das Vorhandensein von weichem Eisen wird die Induktionswirkung insofern

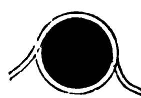
gesteigert, als zur Wirkung des geschlossenen und geöffneten Hauptstromes noch die induzierende Wirkung des Entstehens und Vergehens eines magnetischen Feldes auf die sekundäre Wicklung hinzukommt. Beide Induktionen finden gleichzeitig statt und erzeugen gleichgerichtete Induktionsströme, so daß sich dieselben verstärken.

8. Wirbelströme.

Dieser nützliche Einfluß eines Eisenkerns würde aber zum Teil durch einen anderen, in ihm sich abspielenden Vorgang wieder aufgehoben werden, wenn er massiv wäre. Auch in dem Eisenkern werden nämlich beim Oeffnen und Schließen des Hauptstromes Induktionsströme, sogenannte Wirbelströme, hervorgerufen, die den Eisenkern in umgekehrter Richtung zu den induzierenden Strömen umfließen (vergl. Figur 6), somit das Anwachsen und Abfallen des primären Stromes und das Anwachsen und Verschwinden des magnetischen Feldes verzögern, wodurch wie wir gesehen haben, die Dauer der in der sekundären Rolle entstehenden Induktions-


Figur 6.


Figur 7.

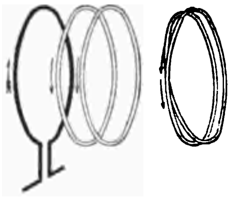

Figur 8.

ströme verlängert und ihre Spannung herabgesetzt werden würde. Um diese nachteilige Wirkung zu vermeiden, wird der Magnetkern nicht aus einem massiven Stück Eisen, sondern aus einer großen Anzahl dünner Drähte oder Bleche hergestellt (vergl. Figur 7 und 8), die auf irgend eine Weise vor gegenseitiger metallischer Berührung geschützt werden. Die Drahtstäbe werden lackiert, zwischen die Blechstreifen legt man Papier. Wird zur Wicklung der Spule eine Hülse mit Randscheiben benutzt, so muß diese aus einem nichtleitenden Material, wie z. B. Hartgummi, Holz, Pappe oder Stabilit hergestellt werden, oder, wenn durchaus eine Metallröhre dazu verwendet werden soll, so muß diese, um das Entstehen von Wirbelströmen zu verhindern, der Länge nach aufgeschlitzt werden (Figur 9).

9. Prinzip der Transformatoren, Induktionsapparate und Funkeninduktoren.

Die Spannung und Intensität der Induktionsströme in der sekundären Spule ist ferner abhängig von dem Verhältnis der Anzahl der Windungen der sekundären Spule zur primären. Angenommen, es würde durch den Betriebsstrom in der primären Spule, in einem ihr genäherten, geschlossenen Drahtringe ein Strom von der elektromotorischen Kraft e induziert. Ist der Widerstand im Ringe $= w$, so ist nach dem Ohm'schen Gesetz

die Induktionsstromstärke in dem Ringe $i = \frac{e}{w}$. Denken wir uns nun den Drahtring der Länge nach in n gleiche Teile gespalten oder durch n Drähte vom Querschnitt $\frac{1}{n}$ des ersten Drahtes ersetzt (vergl. Figur 10), so ist in jedem dieser Ringe der Widerstand $= nw$, die induzierte Stromstärke $\frac{i}{n} = \frac{e}{nw}$. Schaltet man nun diese n Ringe (vergl. Figur 11) hintereinander, so bilden sie eine Drahtspule, und es addieren sich alle in den einzelnen Windungen induzierten elektromotorischen Kräfte $= ne$, während der Widerstand in demselben Verhältnis zunimmt $= n \cdot nw = n^2w$. Die Stromstärke in dieser sekundären Spule wäre somit $= \frac{ne}{n^2w}$ oder $\frac{e}{nw}$, dies ist aber $= \frac{i}{n}$.



Figur 10. Figur 11.

Während also die Spannung des induzierten Stromes mit der Anzahl der Windungen in der sekundären Spule wächst, nimmt die Stromstärke in demselben Verhältnis ab. Das Produkt aus der elektromotorischen Kraft und der Stromstärke bleibt immer dasselbe. Man kann daher mit einem und demselben Stromkreise Induktionsströme von beliebig gesteigerter elektromotorischer Kraft erzeugen, wobei aber ihre Stromintensität in dem gleichen Verhältnis vermindert wird.

Die in der sekundären Spule erzeugte elektromotorische Kraft ist dem Verhältnis der Windungszahl von primärer und sekundärer Spule direkt proportional.

Da nun die Induktionsapparate dazu dienen sollen, die ihnen zugeführte Energiemenge von großer Stromstärke und niedriger Spannung in die Form von geringer Stromstärke und hoher Spannung zu verwandeln, so wird ein solcher Apparat aus einer über ein Eisendrahtbündel gewickelten Spule aus wenigen Windungen eines dicken Drahtes, als Primärspule, und einer darüber gewickelten sekundären Spule aus sehr vielen Windungen eines gut isolierten dünnen Drahtes bestehen müssen.

Der primäre Draht muß dick sein, damit er dem Strom einen möglichst kleinen Widerstand entgegensetze, die Windungszahl gering, damit die Selbstinduktion möglichst klein ausfalle, doch andererseits nicht zu gering, damit der Eisenkern noch genügend stark magnetisiert werde. In der richtigen Abschätzung dieser in entgegengesetztem Sinne wirkenden Verhältnisse besteht die Schwierigkeit der Konstruktion eines guten Induktors. Dazu kommt die Rücksicht auf den Preis. Die Spannung des Sekundärstromes ist zwar der Windungszahl in der Sekundärspule pro-

portional, die Kosten wachsen aber bedeutend schneller, da die äußeren Lagen wegen des größeren Umfanges bedeutend mehr Draht erfordern als die inneren. Nicht in der Aufwicklung einer möglichst dicken Spule besteht die Kunst, einen Induktor bestimmter Schlagweite herzustellen, sondern im Gegenteil in der sparsamen Verwendung des Materials.

10. Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Funkeninduktoren.

Es muß hier darauf hingewiesen werden, daß es nicht angängig ist, die Leistungsfähigkeit eines Funkeninduktors nach seiner Schlagweite allein zu beurteilen. Einige Vergleiche mögen dies verdeutlichen. Einen Dampfkessel beurteilt man hinsichtlich seiner Leistungsfähigkeit nicht allein nach seinem Dampfdruck, sondern auch nach der von ihm erzeugten Dampfmenge; beide zusammen betrachtet ergeben erst ein Bild seiner Leistung. Bei einem Wasserrade kommt es nicht nur auf die Höhe des Gefälles, sondern auch auf die pro Zeiteinheit herunterfließende Wassermenge an. Genau so ist es bei einem Induktor; nicht allein auf die Spannung der Elektrizität, über welche die Schlagweite einen Anhalt bietet, kommt es an, sondern auch auf die gelieferte Stromstärke, d. h. ob der Apparat dünne oder dicke Funken gibt. Nur das Produkt aus Spannung und Stromstärke, oder die Energiemenge, ist für die Beurteilung der Leistung eines Induktionsapparates maßgebend.

11. Nutzeffekt von Induktoren.

Theoretisch müßte die dem Induktor zugeführte Energie gleich der vom Induktor gelieferten Energie sein, wenn nicht unvermeidliche Verluste, hauptsächlich durch Verwandlung eines Teiles der Energie in Wärme, eintreten würden. Das bei der Konstruktion zu erstrebende Ziel ist, diese Verluste so klein als möglich ausfallen zu lassen. Der Energieverlust in einem guten Induktionsapparat ist auch tatsächlich verhältnismäßig gering, größere Verluste entstehen erst in dem erforderlichen Vorschaltwiderstande und Unterbrecher, durch welche der Nutzeffekt oft bis auf 25 % herabgesetzt wird.

12. Einteilung der Apparate.

Je nach dem Zweck, dem die Induktionsapparate dienen sollen, ist ihre Konstruktion und ihre Größe sehr verschieden. Die kleinsten Apparate, die meist ärztlichen Zwecken dienen, sollen nur schwach gespannte Ströme liefern, sie besitzen deshalb keinen Kondensator und keine Vorrichtung zum Ueberspringen von Funken (Funkenentlader). Dies ist erst bei den größeren Apparaten der Fall, die man deshalb auch „Funkeninduktoren“ bezeichnet. Die Sekundärspannung letzterer ist so beträchtlich,

daß die erzeugten Funken Entfernungen von 1 cm bis zu 1 m und mehr in der Luft überbrücken. Diese hohen Spannungen machen eine äußerst sorgfältige Isolation an allen Teilen des Apparates, namentlich innerhalb der sekundären Wicklung notwendig, worauf wir bei den Beschreibungen der Apparate noch näher eingehen werden.

Zweites Kapitel.

Grundlagen der mathematischen Theorie von Funkeninduktoren.

Im vorangegangenen Abschnitt haben wir die Vorgänge in einem Induktionsapparat beziehungsweise Funkeninduktor in einer allgemein verständlichen Weise dargestellt; für diejenigen Leser, die sich mehr für die exakte mathematische Theorie interessieren, sind die folgenden Ausführungen bestimmt, die unter Annahme wesentlicher Vereinfachungen die allgemeinsten Grundlagen darstellen.

1. Elektroinduktion.

Jede Aenderung der Intensität eines einen Leiter durchfließenden elektrischen Stromes ruft in dem eigenen und auch benachbarten Stromkreisen Induktionsströme hervor, deren elektromotorische Kräfte der zeitlichen Aenderung der Stromstärke selbst proportional sind. Bezeichnet man die induzierende Stromstärke mit J, so sind also die induzierten elektromotorischen Kräfte der zeitlichen Aenderung von J, das heißt $\frac{dJ}{dt}$, proportional. Die Induktion des vom induzierenden Strom durchflossenen Kreises auf sich selbst wird Selbstinduktion genannt; die entsprechende elektromotorische Kraft läßt sich schreiben

1) $$\sigma = -L\frac{di}{dt},$$

wo L der Selbstinduktionskoeffizient des betrachteten Stromkreises ist. Das Vorzeichen deutet an, daß die Richtung des Selbstinduktionsstromes der des induzierenden Stromes entgegengesetzt ist. Die Induktion des letzteren auf benachbarte Kreise nennt man gegenseitige Induktion; die entsprechende elektromotorische Kraft ist

2) $$\varepsilon = -M\frac{dJ}{dt}$$

wo M der Koeffizient der gegenseitigen Induktion ist. Würden die betrachteten Stromkreise im wesentlichen aus zwei konzentrischen Spulen

ohne Eisenkern bestehen, so wären L und M konstant. Da die Spulen aber einen Eisenkern enthalten, so sind die Werte dieser Koeffizienten von dem magnetischen Zustande des Kerns abhängig und die hervorgerufenen elektromotorischen Kräfte $\left(\text{an Stelle von } \frac{dJ}{dt}\right)$ der Aenderung des magnetischen Feldes d. i. $\frac{d\psi}{dt}$ proportional. Da die mathematischen Betrachtungen durch die Variabilität von L und M sehr kompliziert werden, sollen bei den folgenden Betrachtungen L und M im allgemeinen als konstant angenommen werden. Sehen wir zunächst von dem Auftreten von Funken am Unterbrecherkontakt und zwischen den sekundären Polen ab, so ergeben sich folgende beiden Differentialgleichungen:

$$3)\qquad RJ + L\frac{dJ}{dt} + M\frac{di}{dt} + \frac{Q}{C} = E$$

für die primäre Wicklung und

$$4)\qquad ri + l\frac{di}{dt} + M\frac{dJ}{dt} + \frac{q}{c} = o$$

für die sekundäre Wicklung, wo E die elektromotorische Kraft der Betriebsbatterie, J und i die Stromstärke, R und r den Widerstand und L und l den Selbstinduktionskoeffizienten der primären beziehungsweise sekundären Spule, M den Koeffizienten der gegenseitigen Induktion, C die Kapazität des zum Unterbrecher parallel geschalteten Kondensators, c die Eigenkapazität der sekundären Wicklung und Q beziehungsweise q die in beiden Stromkreisen in Bewegung gesetzte Elektrizitätsmenge bezeichnet. Da eine allgemeine Lösung dieser Gleichungen noch nicht gefunden wurde, wollen wir uns einigen besonders einfachen und interessanten Spezialfällen zuwenden.

2. Vorgang beim Stromschluß.

Betrachten wir zunächst den Vorgang des Stromschlusses. Um eine weitere Vereinfachung herbeizuführen, sei angenommen, daß die Rückwirkung der sekundären Spule auf die primäre, d. h. das Glied $M\frac{di}{dt}$ der ersten Gleichung vernachlässigt werden kann. Die erste Gleichung nimmt dann die Form:

$$5)\qquad RJ + L\frac{dJ}{dt} = E$$

an, da der Kondensator in diesem Moment kurzgeschlossen ist, also als unendlich groß angesehen werden muß. Als Lösung dieser Gleichung ergibt sich:

$$6)\qquad J = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$$

Die primäre Stromstärke nimmt also nicht momentan ihren Endwert $\frac{E}{R}$ (für $t = \infty$) an, sondern wächst nach einer Exponentialfunktion und nähert sich jenem Endwerte asymptotisch. Die Schnelligkeit des Anwachsens wird durch die Zeitkonstante $\frac{L}{R}$ charakterisiert; letztere gibt die Zeit an, nach deren Verlauf die Stromstärke 0,633 des Endwertes erreicht hat. Je größer also die Zeitkonstante ist, um so langsamer steigt die Primärstromstärke an.

Für die elektromotorischen Kräfte der Induktionsströme ergeben sich die Werte:

7) $$\sigma = -L \frac{dJ}{dt} = -R J_0 \, e^{-\frac{R}{L} t} \text{ und}$$

8) $$\varepsilon = -M J_0 \frac{R}{L} e^{-\frac{R}{L} t}.$$

Diese Werte besitzen ihr Maximum für $t = 0$, und zwar

9) $$\sigma_1 = -R J_0 = -E \text{ und}$$

10) $$\varepsilon_1 = -\frac{M}{L} E.$$

Letztere Gleichung wurde übrigens durch die Untersuchungen von Beattie auch experimentell bestätigt. Mit wachsender Zeit werden also die induzierten elektromotorischen Kräfte kleiner und kleiner, um schließlich ganz zu verschwinden, wenn die primäre Stromstärke ihren Endwert erreicht hat.

3. Vorgänge bei der Stromöffnung.

Gehen wir nun zu den wichtigeren Vorgängen über, die sich während der Stromöffnung abspielen. Da sich letztere sehr schnell vollzieht, so verläuft die Stromintensitätsänderung bedeutend schneller als bei Stromschluß. Die hierdurch hervorgerufenen elektromotorischen Kräfte besitzen dementsprechend bedeutend höhere Werte, so daß nicht allein am Unterbrechungskontakt, sondern auch zwischen den sekundären Klemmen Funken auftreten, die die mathematische Behandlung äußerst erschweren. Wir wollen uns hier darauf beschränken, die wichtigsten bisher veröffentlichten diesbezüglichen theoretischen Darstellungen anzuführen, und müssen es dem Leser überlassen, Einzelheiten in den Originalveröffentlichungen nachzulesen.

Die erste diesbezügliche Darstellung rührt von Colley (1891) her. Eine wesentliche Vereinfachung verdanken wir Armagnat, welcher von der Funkenbildung an dem Unterbrecherkontakt und zwischen den sekundären Polen absah, die Rückwirkung der sekundären Wicklung auf die primäre

vernachlässigte und die in der sekundären Spule induzierte elektromotorische Kraft $= - M \frac{dJ}{dt}$ setzte. Für J ergibt sich dann unter der Voraussetzung $R^2 < 4 \frac{L}{C}$

11) $$J = J_0 e^{-\alpha t} \left(\cos \beta t - \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta t\right)$$

wo $\alpha = \frac{R}{2L}$ und $\beta = \sqrt{\frac{1}{C.L} - \frac{R^2}{4L^2}}$ bedeutet.

Die Stromstärke weist also die Form einer gedämpften Schwingung auf. (Dämpfungskoeffizient α). Die Schwingungsdauer ergibt sich zu

12) $$T = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{C.L} - \frac{R^2}{4L^2}}}.$$

Setzt man zur weiteren Vereinfachung

13) $$\beta = \frac{1}{\sqrt{L.C}},$$

dann wird

14) $$T = 2\pi \sqrt{L.C}$$

und J ergibt sich als einfacher Wechselstrom, dessen Intensität

15) $$J = J_0 \cos \frac{t}{\sqrt{L\,C}}$$

beträgt. Die elektromotorischen Kräfte der Induktionsströme sind dementsprechend $-\frac{dJ}{dt} = \frac{J_0}{\sqrt{L\,C}} \,.\, \sin \frac{t}{\sqrt{L\,C}}$ proportional und erreichen für $t_1 = \frac{T}{4}$ ihren Maximalwert: $J_0 \,.\, \frac{1}{\sqrt{L.C}}$. Die elektromotorische Kraft des Selbstinduktionsstromes strebt daher dem Werte

16) $$\sigma_2 = \sqrt{\frac{L}{C}} . J_0,$$

die elektromotorische Kraft des Induktionsstromes dem Werte

17) $$\varepsilon_2 = \frac{M}{\sqrt{L\,C}} . J_0$$

zu; oder nach 14) ist

18) $$\sigma_2 = \frac{2\pi L}{T} . J_0$$

19) $$\varepsilon_2 = \frac{2\pi M}{T} . J_0$$

d. h. die elektromotorischen Kräfte sind der Schwingungsdauer umgekehrt proportional. Nimmt man weiter an, daß keine magnetische Streuung

vorhanden ist, also der ganze von der primären Wicklung erzeugte Kraftfluß die sekundäre Spule durchdringt, und bezeichnet mit N die Anzahl der primären, mit n die der sekundären Windungen, so ist

20) $$L = A N^2$$

21) $$l = A n^2$$

22) $$M = A Nn$$

wo A einen Koeffizienten bezeichnet, der von den Dimensionen der Spulen abhängt. Aus diesen 3 Gleichungen ergibt sich:

23) $$M = \sqrt{L l}.$$

Setzt man diesen Wert in Gleichung 17) ein, so ergibt sich die Walter'sche Formel:

24) $$\varepsilon_2 = \sqrt{\frac{l}{C}} \cdot J_0$$

welche besagt, daß die elektromotorische Kraft des sekundären Induktionsstromes proportional der Primärstromstärke J_0 im Momente der Unterbrechung und umgekehrt proportional der Quadratwurzel der primären Kapazität ist. Während erstere Beziehung experimentell bestätigt werden konnte, ergibt sich im Gegensatz zur zweiten Beziehung, daß die von einem Funkeninduktor gelieferte Funkenlänge für einen bestimmten Wert der Kapazität, welcher sich mit J_0 ändert, ein Maximum wird (Mizuno). Bei kleineren und größeren Werten der Kapazität ist die Funkenlänge kleiner; die theoretische Beziehung gilt erst, wie Johnson gezeigt hat, wenn der günstigste Wert der Kapazität überschritten wird.

Für das Verhältnis der elektromotorischen Kraft des sekundären Induktionsstromes zu jener des primären ergibt sich:

25) $$\frac{\varepsilon_2}{\sigma_2} = \frac{m}{l} = \sqrt{\frac{l}{L}} = \frac{n}{N}$$

d. h. es wird durch das Uebersetzungsverhältnis der beiden Wicklungen bestimmt.

4. Vergleich der Schließungs- und Oeffnungs-Induktionsströme.

Vergleichen wir jetzt die elektromotorischen Kräfte bei Stromschluß und Stromunterbrechung, so erhalten wir:

26) $$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

27) $$\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}.$$

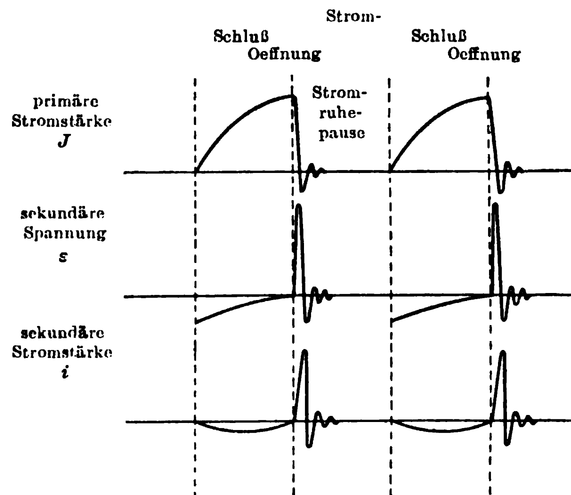
Da R^2 gegen $\frac{L}{C}$ vernachlässigt werden kann, so ist ersichtlich, daß diese Verhältnisse sehr große Werte darstellen. Diese Gegenüberstellung von ε_2 und ε_1 erklärt auch, warum ein in die sekundäre Wick-

lung eingeschaltetes Galvanometer einen Strom bestimmter Richtung anzeigt, wenn eine genügend lange Funkenstrecke eingestellt ist, während es in Ruhe bleibt, wenn man die sekundäre Spule kurzschließt. Im ersten Fall ist die elektromotorische Kraft des Schließungsinduktionsstromes zu klein um die Luftstrecke zu überbrücken, nur der Oeffnungsinduktionsstrom passiert. Im zweiten Fall passieren sowohl Schließungs- als auch Oeffnungsinduktionsströme. Die Stromstärke ist: $i = \frac{-\left(M\frac{dJ}{dt} + l\frac{di}{dt}\right)}{r}$

Die Elektrizitätsmenge, welche bei der Aenderung von 0 bis J und von J bis 0 in Bewegung gesetzt wird, ist: $q = \int_0^J i\,dt = -\frac{M}{r}\int_0^J dJ$ wenn die betrachtete Zeit t genügend lang ist, daß $i_t = i_0 = 0$ wird; diese Elektrizitätsmenge ist, wie auch die Stromkurve verlaufen möge, konstant wenn der Widerstand r konstant ist. Dieser Fall tritt aber nur im Falle der Ueberbrückung der sekundären Wicklung durch metallische Leiter ein. Die bei Schließung und Oeffnung induzierten Elektrizitätsmengen sind dann gleich und entgegengesetzt gerichtet und ihre Gesamtwirkung auf ein Gleichstromgalvanometer ist null, wenn sie sich in verhältnismäßig kurzer Zeit aufeinander folgen.

5. Vollständige Periode.

Eine vollständige Periode eines Induktors, welcher oszillatorische Entladungen gibt, setzt sich aus der Zeit, während welcher der primäre



Figur 12.

Strom geschlossen und jener während er geöffnet ist, zusammen. Die Stromöffnung selbst nimmt nur einen Bruchteil der ganzen Periode in

Anspruch. Die durch die Stromöffnung hervorgerufenen elektromotorischen Kräfte hängen von dem Werte der Stromstärke im Moment der Unterbrechung ab; dieser Wert nähert sich, je länger der Stromschluß währt, dem Endwerte $\frac{E}{R}$. Die Verhältnisse sind in Figur 12 graphisch dargestellt. Für den Fall, daß der Induktor auf Funkenübergang zwischen den sekundären Polen eingestellt ist, kann die während des Stromschlusses induzierte Elektrizitätsmenge null sein, weil der Widerstand als unendlich groß anzusehen ist. Bei Einschaltung einer Roentgenröhre ist dies nicht mehr der Fall, so daß auch Schließungsströme auftreten, deren Intensität allerdings im allgemeinen kleiner sein wird als diejenige der Oeffnungs-Induktionsströme.

Die im vorhergehenden abgeleiteten Beziehungen werden durch die primären und sekundären Funken, die Eigenkapazität der sekundären Spule und Anwesenheit des Eisens wesentlich modifiziert. Der zur Verfügung stehende Raum gestattet es leider nicht, ausführlicher auf die den Einfluß dieser verschiedenen Faktoren betreffenden Arbeiten einzugehen.

6. Literatur-Uebersicht.

R. Colley, Wiedemanns Annalen 44. Seite 109. 1891.
H. Armagnat, Industrie électrique S. 117. 1894.
B. Walter, Wiedemanns Annalen 62. S. 300. 1897.
Oberbeck, Wiedemanns Annalen 62, S. 109. 1897.
„ Wiedemanns Annalen 64. S. 193. 1898.
T. Mizuno, Philosophical Magazine 45. S. 447. 1898.
B. Walter, Wiedemanns Annalen 66. S. 623. 1898.
H. Armagnat, Eclairage électrique 22. S. 121. 1900.
Beattie, Philosophical Magazine 50. S. 139. 1900.
K. R. Johnson, Drudes Annalen 3. S. 438 u. 744. 1900.
„ „ „ „ „ 4. S. 137. 1901.
E. Taylor Jones, Philosophical Magazine, Januar 1901.
T. Mizuno, Drudes Annalen 4. S. 801. 1901.
Lord Rayleigh, Philosophical Magazine 2. S. 581. 1901.
H. Armagnat, Eclairage électrique 33. S. 217. 1902.
H. Armagnat, Eclairage électrique 37. S. 241. 1903.
Broca und Turchini, Bulletin de la Société internationale des Electriciens. S. 235. 1904.
J. W. Waghorn, Electrician 66. S. 172. 1910.
R. Hiecke, Zeitschrift für Elektrotechnik und Maschinenbau 30. S. 69. 1912.
E. Taylor Jones und D. E. Roberts, Philosophical Magazine, Nr. 131, 1912.

Drittes Kapitel.

Physiologische Induktionsapparate.

1. Zweck, allgemeine Angaben.

Die kleinen Induktionsapparate dienen, wie bereits erwähnt, ärztlichen Zwecken; es wird von ihnen nur eine geringe Spannung des Induktionsstromes verlangt. Die primäre Spule besteht meist aus zwei Lagen oder 100 bis 800 Windungen eines 0,6 bis 1 mm dicken Kupferdrahtes, der mit Baumwolle besponnen ist und 1 bis 5 Ohm Widerstand hat. Die sekundäre Spule enthält 3000 bis 10 000 Windungen eines 0,1 bis 0,2 mm dicken, doppelt mit Seide besponnenen Kupferdrahtes. Der Strom wird von 1 bis 2 Chromsäure- oder Salmiakelementen geliefert. Die Induktionsspule erzeugt dann Spannungen von 10 bis 500 Volt.

Wir wollen die Einrichtung eines einfachsten Apparates dieser Art an einem Beispiel kennen lernen.

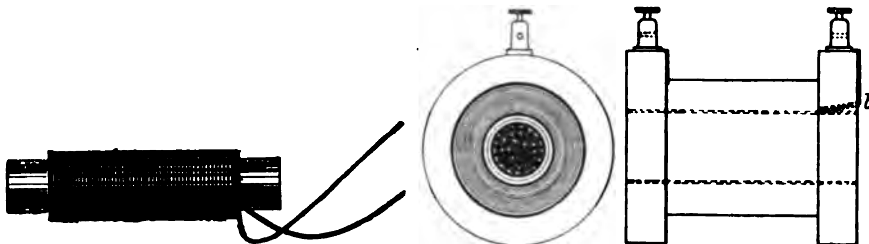
2. Bau eines kleinen Induktionsapparates.

Die kleinen Induktionsapparate geben einen verhältnismäßig niedrig gespannten Sekundärstrom und dienen zum Elektrisieren des menschlichen Körpers (Faradisation). Sie bestehen aus einer primären Spule mit Eisenkern, einem Stromunterbrecher, meist in Form des Wagner'schen Hammers (Figur 3) und einer sekundären Spule. Ein solcher Apparat wird wie folgt aufgebaut:

Zunächst wird aus $^1/_2$ bis $^3/_4$ mm dicken Eisendrähten der Eisenkern hergestellt. Die Drähte müssen gut geglüht und genau gerade gerichtet sein. Beide Manipulationen lassen sich vereinigen, indem man einen 1 bis 2 m langen Eisendraht an einem Ende aufhängt und am anderen Ende mit einem Gewicht von etwa 2 kg belastet. Mit einer Bunsenflamme macht man dann, von unten anfangend und langsam mit der Flamme steigend, den Draht glühend. Es ziehen sich dann alle Knicke und Biegungen aus dem Draht heraus; nach dem Erkalten erhält man einen vollkommen geraden und zugleich gut geglühten Draht. Diesen schneidet man in 72 mm lange Stücke. Von diesen Stäbchen sind so viele erforderlich, daß sie zu einem 12 mm dicken Bündel ausreichen. Die einzelnen Stäbchen werden zunächst mit einer Auflösung von Schellack in 90grädigem Spiritus (Tischlerpolitur) gestrichen und gut getrocknet. Darauf werden sie in eine Papierrolle von 12 mm innerem Durchmesser und 60 mm Länge, die man durch Umwickeln eines mit Leim bestrichenen Papierstreifens um eine 12 mm dicke Holzrolle herstellt, geschoben.

Auf diese Papierrolle mit Eisenkern wickelt man zunächst 52 Windungen eines 0,6 mm dicken, mit Baumwolle oder Seide doppelt umsponnenen Kupferdrahtes in einer Lage und darüber eine zweite Lage, so daß sich beide Enden des Drahtes an einer Seite der Rolle befinden. Die primäre Spule unseres Induktionsapparates ist damit fertig, ihr äußerer Durchmesser wird etwa 18 mm betragen (Figur 13).

Zur sekundären Spule wickelt man aus einigen Lagen geleimten Papiers um eine 18 mm dicke Holzrolle eine zweite Hülse. Die innerste Lage wird nicht mit Leim bestrichen, damit man die Hülse, nachdem sie getrocknet ist, von der Holzrolle abziehen kann. Die Wandstärke der Hülse braucht nur 1 mm zu betragen. Auf die Enden dieser 60 mm langen Hülse leimt man je eine 10 mm dicke, 50 mm im Durchmesser große, von hartem Holz gedrehte Scheibe, und erhält dann eine Spule, wie Figur 14 und 15 zeigt. Man kann sich diese Spule auch ganz von Holz drechseln, nur muß die Hülse recht dünnwandig sein. Auf diese Spule

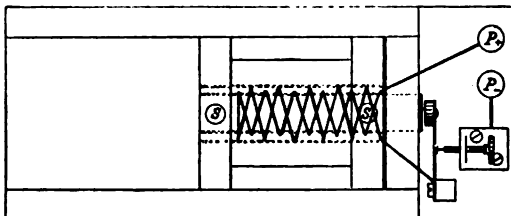


Figur 13. Figur 14 Figur 15.

werden 120 m eines mit Seide besponnenen Kupferdrahtes von 0,15 bis 0,2 mm Dicke aufgewickelt. Die Wicklung mit der Hand macht Mühe leichter ist sie auf einer Drehbank auszuführen. Man wickelt den Draht lagenweise und dicht aneinander; zwischen je zwei Lagen kommt eine Hülse in Paraffin getränkten Postpapiers. Den Anfang des Drahtes, also das innere Ende desselben, führt man durch eine Bohrung *b* (Figur 15) nach außen und befestigt es mit einer Klemmschraube. Das äußere Ende befestigt man an der Klemme auf der anderen Scheibe. Um die Wicklung zu schützen, bringt man über dieselben eine Hülle von schwarzem Lackleder oder Wachstuch an. Nachdem so auch die sekundäre Spule fertiggestellt ist, wird nunmehr die primäre Spule durch eine Bohrung in der Mitte eines 100 mm im Quadrat großen Brettchens gesteckt und darin rechtwinklig stehend an einem Ende befestigt. Dieses Brettchen wird mittels zweier Holzschrauben auf einem Grundbrett festgeschraubt, auf dem noch ein Wagner'scher Hammer (vergl. Figur 3) und zwei Polklemmen angebracht werden. Die eine Klemme wird mit einem Kupferdraht mit der Platinkontaktschraube verbunden, die beiden Enden der primären Spule

mit der Hammerfeder beziehungsweise der andern Polklemme. In den Klemmen der Sekundärspule werden biegsame Kupferlitzen-Schnüre von 1 m Länge befestigt, deren andere Enden zwei Handhaben aus Messing tragen.

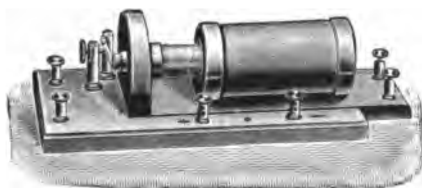
Wird nun an die beiden Polklemmen auf dem Grundbrett ein Element angeschlossen, und die Stellschraube mit dem Platinkontakt so weit vorgedreht, daß sie das Kontaktstück der Hammerfeder berührt, so beginnt der Apparat mit summendem Geräusch zu arbeiten. Man gewahrt die Wirkung der sekundären Ströme, wenn man die messingnen Handhaben in die Hände nimmt und die sekundäre Spule der primären nähert. Die Induktionsströme sind um so kräftiger, je weiter man die sekundäre Spule hinaufschiebt. Um diese Verstellung und Einstellung der sekundären Spule besser bewirken zu können, ist es zweckmäßig, auf dem Grundbrett zwei Führungsleisten anzubringen und die Sekundärspule auf einem Schlitten zu befestigen, der sich zwischen den Leisten leicht verschieben läßt. Man hat dann einen Schlittenapparat, wie er in Figur 16 abgebildet ist und zuerst für physiologische Experimente von Du Bois-Reymond angewendet wurde. Am Schlitten kann ein Zeiger, auf der einen Leiste eine Skala angebracht werden, um die Induktionsstromstärke danach einstellen zu können.



Figur 16.

3. Ausgeführte Apparate.

Einen Apparat der Firma Reiniger, Gebbert & Schall, Akt.-Ges. in Erlangen zeigt Figur 17. Häufig werden für denselben Apparat



Figur 17.

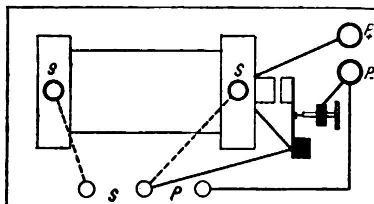


Figur 18.

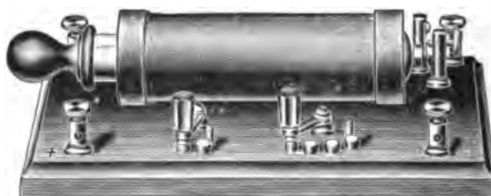
mehrere Sekundärspulen (aus 0,1 bis 0,6 mm Draht) gefertigt, um die physiologische Wirkung in noch weiteren Grenzen variieren zu können. In Figur 18 ist ein ähnlicher Apparat derselben Firma dargestellt, bei dem

die Sekundärspule nicht über die primäre verschiebbar, sondern fest auf dem Grundbrett angeordnet ist. Die Primärspule ist in der auf der Hammerseite befindlichen Holzscheibe der Sekundärspule zentrisch befestigt. Die Regulierung des Induktionsstromes wird hier durch einen sogenannten Dämpfer bewirkt. Dies ist ein dünnwandiges Metallrohr, das über den Eisenkern oder in den Zwischenraum zwischen Primär- und Sekundärspule geschoben wird. Durch die in diesem geschlossenen Metallrohr auftretenden Induktionsströme (Wirbelströme) werden die in der Sekundärspule induzierten Ströme bedeutend geschwächt. Je weiter man daher den Dämpfer einschiebt, desto schwächer werden die gelieferten Induktionsströme. Die Regulierung kann drittens auch in der Weise erfolgen, daß man den aus einem Bündel Eisendrähte bestehenden Kern in die, natürlich auf eine besondere Hülse oder Glasrohr gewickelte Primärspule mehr oder weniger tief einschiebt. Dieses Regulierverfahren zeigt auch den außerordentlich großen Anteil des Eisenkernes an der Entstehung der Induktionsströme. Schließlich kann man eine Regulierung des primären Stromes auch dadurch bewirken, daß man die primäre Wicklung aus mehreren getrennten Lagen herstellt und davon nach Bedarf eine oder mehrere einschaltet. Diese Art der Regulierung wird selten benutzt häufiger kommt sie bei der sekundären Wicklung zur Anwendung, worauf wir bei den betreffenden Apparaten noch zurückkommen werden.

Die meisten Induktionsapparate werden so eingerichtet, daß sie außer der Benutzung des in der sekundären Spule erzeugten Induktionsstromes auch die Anwendung des Unterbrechungs Selbstinduktionsstromes gestatten (vergl. Figur 19).



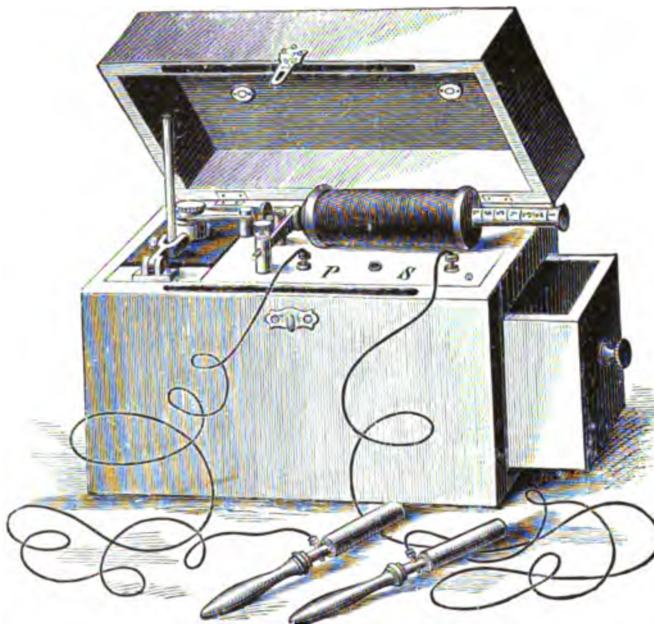
Figur 19.


Figur 20

Die sogenannten Badeapparate benutzen überhaupt nur diesen Selbstinduktionsstrom; sie haben gar keine Sekundärspule und gehören daher eigentlich nicht hierher. Der Vollständigkeit wegen mag auf sie an dieser Stelle jedoch kurz hingewiesen werden. Figur 20 stellt einen solchen Badeapparat der vorher genannten Firma dar. Die primäre Spule ist aus mehreren einzelnen Lagen eines etwa 0,6 bis 0,8 mm dicken Drahtes über einen Eisenkern gewickelt. Durch einen Kurbelschalter, der

über Kontaktknöpfe gleitet, können eine oder mehrere Lagen hintereinander geschaltet werden. Von der Unterbrechungsstelle des Stromes am Wagner'schen Hammer sind Drähte nach den hinteren zwei Klemmen auf dem Grundbrette geführt, von welchen der Selbstinduktionsstrom abgenommen wird.

In Figur 21 ist ein Induktionsapparat abgebildet, wie ihn Richard Galle in Berlin liefert. Derselbe enthält die primäre und sekundäre Spule, Hammerunterbrecher und Betriebselemente in einem Kasten eingebaut und ist deshalb leicht transportabel. Die Regulierung des Induktions-



Figur 21.

stromes erfolgt durch einen verschiebbaren Eisenkern. Vorn sind drei Stöpselkontakte angebracht, an die die dem Apparat beigegebenen Zubehörapparate mittels biegsamer Leitungsschnüre angeschlossen werden können. Die Einrichtung ist derartig, daß man sowohl den primären Oeffnungsstrom als auch den sekundären Induktionsstrom, sowie auch beide zugleich benutzen kann. Die hierzu erforderlichen Verbindungen haben wir bereits an Hand der schematischen Zeichnung Figur 18 kennen gelernt.

Einen Taschen-Induktionsapparat desselben Fabrikanten zeigt Figur 22. Derselbe enthält als Betriebsbatterie ein Trockenelement; zur Stromregulierung besitzt er eine Schaltkurbel zur Einschaltung einer kleineren oder größeren Anzahl von Sekundärwindungen. Der Strom ist am schwächsten,

wenn die Kurbel auf dem Kontakt 1 steht, am stärksten auf Kontakt 8. Auch dieser Apparat gestattet die Anwendung des primären Oeffnungsstromes (Stöpsel *P*) oder des sekundären Induktionsstromes (Stöpsel *S*), bezw. beider (Stöpsel in die Endlöcher *O*).

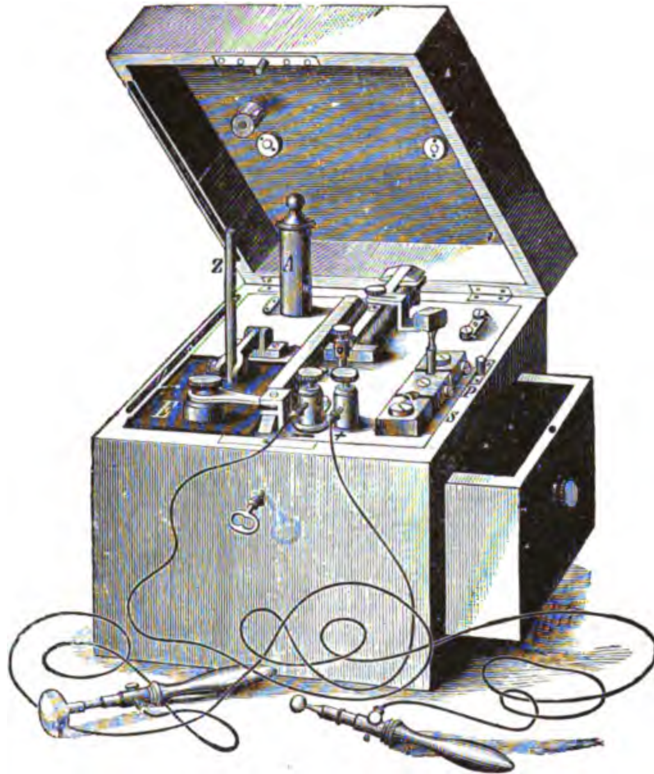


Figur 22.

Als Nebenapparate werden zwei Leitungsschnüre, Hefte und Schwammhülsen, sowie ein Drahtpinsel und eine mit Leder bezogene Elektrode beigegeben. Letztere muß vor dem Gebrauch gut mit Wasser angefeuchtet werden.

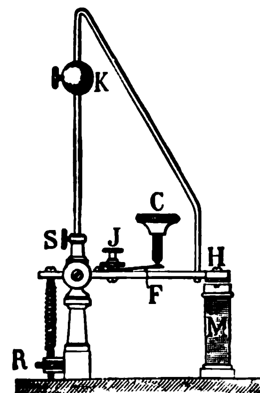
Anstatt den Stromunterbrecher, z. B. den Wagner'schen Hammer, direkt mit dem Induktionsapparat zu verbinden und ihn von dem Elektromagneten der primären Spule zu betreiben, kann man denselben auch gesondert anbringen. Dies hat den Vorteil, daß eine Regulierung des primären oder sekundären Stromes auf den Unterbrecher keinen Einfluß ausübt, die Unterbrechungszahl somit von der Stromregulierung unabhängig ist.

Mit einer derartigen Einrichtung ist der in Figur 23 abgebildete transportable Induktionsapparat nach Spamer, der von Richard



Figur 23.

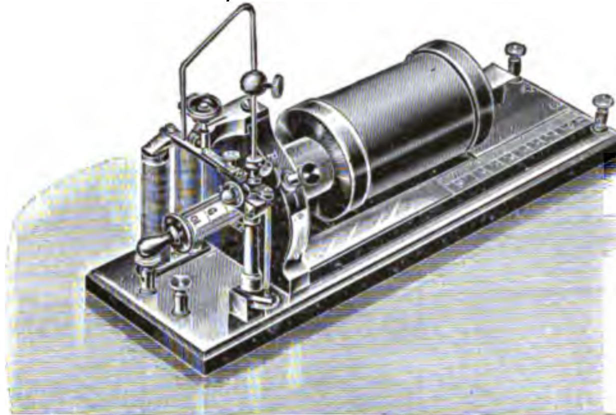
Galle in Berlin, Reiniger, Gebbert & Schall A.-G. in Erlangen u. a. m. gebaut wird, versehen. Legt man Wert auf eine besonders große Veränderung der Unterbrechungszahl, die beim Wagner'schen Hammer durch mehr oder minder starkes Anziehen der Kontaktschraube nur in engen Grenzen variiert werden kann, so empfiehlt sich die Anwendung eines Pendel-Unterbrechers.



Figur 24.

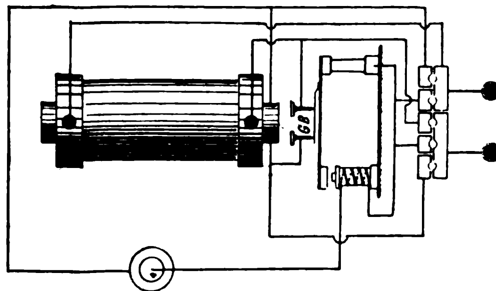
Bei diesem ist die Hammerfeder durch einen schwingenden Hebel ersetzt, der zwischen Zapfen gelagert und durch eine anspannbare Spiralfeder gegen den Platinkontakt gedrückt wird (Figur 24). Mit diesem Hebel ist eine Stange von Aluminium starr verbunden, auf der sich ein verschiebbares

Gewicht feststellen läßt. Der Hebel mit dem Gewicht bildet somit ein Pendel, dessen Schwingungszahl sich durch Verschieben des Gewichtes in weiten Grenzen verändern läßt.



Figur 25.

In Figur 25 ist ein Schlittenapparat mit Pendelunterbrecher, wie er von Reiniger, Gebbert & Schall A.-G. gebaut wird, abgebildet. Bei demselben ist auch noch der Eisenkern in der Primärspule verschiebbar. ☞ Die in Figur 26 angegebene Schaltung ermöglicht es, nur gleichgerichtete Sekundärströme zu benutzen. Zu diesem Zweck ist außer der gewöhnlichen Kontaktschraube *G* noch eine zweite *B* über der Hammerfeder angeordnet und ein Stöpselumschalter angebracht. In dem einen Falle wird während der Schließung des primären Stromes die Sekundärspule kurz geschlossen, so daß nur der Oeffnungsstrom wirksam bleibt; im zweiten Falle erfolgt aber die Verbindung des einen Endes der Sekundärspule mit den entsprechenden Ableitungsklemmen erst im Augenblick des Stromschlusses, so daß nur die Schließungs-Sekundärströme zur Wirkung kommen können.



Figur 26.

Figur 27 zeigt einen derartigen Induktionsapparat für gleichgerichtete Sekundärströme nach Dr. Lewandowski. Die sekundäre Spule ist mittels Zahntrieb als Schlitten verstellbar, der Eisenkern herausziehbar, der Unterbrecher mit Pendel ausgerüstet.

Faradimeter sind Induktionsapparate mit Voltskala für die Sekundärspule. Voraussetzung für die Richtigkeit der Skala ist eine genau gleichbleibende Stromstärke im primären Stromkreise. Diese muß durch einen



Figur 27.

Rheostaten in Verbindung mit einem Ampèremeter genau einreguliert werden; aus diesem Grunde ist die Anwendung der Faradimeter umständlich und wenig gebräuchlich.

4. Stromquellen für den Betrieb der Induktionsapparate.

Als Stromquellen für den Betrieb von Induktionsapparaten kommen in Betracht: Primärelemente, Thermosäulen, Akkumulatoren und Gleichstrom-Lichtleitungen.

Von den Primärelementen sind nur Chromsäure-, Leclanché- und Trockenelemente im Gebrauch.

a) Chromsäure-Tauchelemente sind wegen ihrer hohen elektromotorischen Kraft und ihres geringen inneren Widerstandes zum Betriebe von Induktionsapparaten besonders geeignet. Sie können hierbei in zwei Ausführungsformen verwendet werden, nämlich als sogenannte Spamer-Elemente oder als Grenet'sche Flaschenelemente. Die besondere Konstruktion beider wird durch die Notwendigkeit bedingt, das Zink während des Nichtgebrauches aus der Säure zu entfernen. Das Spamer-Element (Figur 28) besteht aus einem geschlossenen Glasgefäß, in dessen Deckel zwei Löcher



Figur 28

zur Aufnahme je eines Kohle- und Zinkstabes angeordnet sind. Die Kohle ist mit Paraffin vergossen, das Zink kann herausgezogen und die Oeffnung mit einem Gummipfropfen geschlossen werden, um ein Ausfließen der Säure beim Transport des Apparates zu verhüten. Eine Chromsäurefüllung reicht zum Betriebe eines Induktionsapparates auf 2 Stunden aus, dann muß sie erneuert werden.



Figur 29.

Das Grenet'sche Flaschenelement (Figur 29) trägt die Kohle fest an dem abnehmbaren Porzellandeckel; das Zink wird beim Nichtgebrauch in die Höhe gezogen, so daß es nicht mehr in die Chromsäure taucht, bleibt aber in der Flasche. Die Handhabung ist also bequemer als bei dem vorigen Element; bezüglich der Füllung gilt das gleiche.

Ersetzt man bei den beschriebenen Chromsäureelementen nach dem Vorschlage von Lohnstein die Zinkelektrode durch eine Magnesiumelektrode, so erhält man ein Element, welches eine Klemmenspannung von 3 Volt aufweist. Eine 5% Salzsäure-Kaliumbichromat-Lösung gibt hierbei die besten Resultate.

b) Leclanché-Elemente (Figur 30) haben geringere Spannung als die Chromsäureelemente; im allgemeinen wird man daher mehrere Elemente dieser Art hintereinander schalten müssen. Zink und Kohle tauchen in Salmiaklösung; der Verschluß ist meist durch Paraffin hergestellt. Das Zink kann beim Nichtgebrauch in der Flüssigkeit bleiben. Diese Elemente halten länger vor als die Chromsäureelemente, vor denen sie den weiteren Vorteil besitzen, daß durch gelegentlich abtropfende Flüssigkeit keinerlei Schaden angerichtet werden kann; besonders bei stationären Apparaten werden sie gern angewendet, während sie für transportable ihres höheren Gewichtes wegen weniger in Frage kommen.



Figur 30.

c) Trockenelemente haben eine etwas höhere Spannung als Leclanché-Elemente (bis 1,5 Volt). Bei nicht zu hohen Ansprüchen an die Stärke des Induktionsstromes genügt zum Betriebe des Induktionsapparates ein einziges Element, doch empfiehlt es sich im allgemeinen zwei Trockenelemente hintereinander zu schalten Da die Trockenelemente keine Flüssigkeit enthalten, sind sie besonders gut geeignet für transportable Apparate Aber auch für andere Zwecke werden sie ihrer bequemen und sauberen

Handhabung wegen gern angewendet. Nachdem sie erschöpft sind, wirft man sie fort und schaltet neue ein; gute Trockenelemente halten jedoch recht lange vor, wenn sie nach dem Gebrauch nicht unnützerweise geschlossen bleiben. Recht brauchbare Trockenelemente in verschiedenen Formen und vielen Größen liefern Elektrizitäts-A.-G. Hydrawerk, Berlin-Charlottenburg, Neue Element-Werke, Gebr. Haß & Co., Berlin, Siemens & Halske A.-G. in Berlin, letztere nach Hellesens Patent (Figur 31) und Ad. Wedekind, Hamburg (Ferrabin-Elemente).



Figur 31.

d) Bei kleinen Taschen-Induktionsapparaten kommen auch Quecksilbersulphat-Elemente zur Anwendung. In einem kleinen zweizelligen Hartgummitrog ist am Boden jeder Zelle eine Kohlenplatte angeordnet, über die mit geringem Abstand je eine Zinkplatte auf kleinen Hartgummistützen gelagert ist. Für den Gebrauch nimmt man die Zinkplatten heraus, schüttet auf die Kohlen soviel Quecksilbersulphat und Wasser, daß die Zinkplatten beim Wiedereinlegen die Lösung mit ihrer ganzen Fläche berühren. Nach Gebrauch ist das Element auszuspülen und abzutrocknen. Figur 32 zeigt einen mit diesem Element ausgerüsteten Tascheninduktionsapparat nach Gaiffe von Reiniger, Gebbert & Schall A.-G. in Erlangen.



Figur 32.

e) Thermosäulen geben sehr konstanten Strom, sind bei Gasheizung sofort betriebsfähig, aber nicht transportabel und für den ausschließlichen Betrieb von Induktionsapparaten auch zu teuer. Wir werden in einem späteren Kapitel auf dieselben zurückkommen.

f) Akkumulatoren, speziell für den Betrieb eines Induktionsapparates, anzuschaffen, empfiehlt sich nicht, da deren Ladung umständlich und verhältnismäßig kostspielig ist. Sind solche aber bereits für andere Zwecke vorhanden, so sind dieselben für vorliegende Zwecke sehr wohl mit zu benutzen. Sie geben einen sehr gleichmäßigen Strom und sind sehr ausgiebig. Für transportable Zwecke sind Akkumulatoren weniger geeignet,

es sei denn, daß Spezialzellen mit gelatinösem (Kieselsäure haltigem) oder in Glaswolle aufgesaugten Elektrolyten zur Anwendung gelangen. Beträgt die Spannung der in einem gemeinsamen Kasten untergebrachten Akkumulatorenbatterie mehr als 6 Volt, dann muß vor den Induktionsapparat ein Widerstand geschaltet werden.

g) Anschluß an eine Gleichstromzentrale ist allen anderen Betriebsarten vorzuziehen, da hierbei jede Sorge um die Stromquelle fortfällt. In diesem Falle muß ein geeigneter Vorschaltwiderstand angewendet werden, der am einfachsten aus einer Glühlampe besteht. Außerdem ist zur Vermeidung starker Funken zu den Unterbrecherkontakten ein Nebenschlußwiderstand parallel zu schalten. Figur 33 zeigt eine derartige Anordnung zum Betrieb eines Induktionsapparates im Anschluß an eine Gleichstromzentrale von Reiniger, Gebbert & Schall A.-G. in Erlangen.



Figur 33.

5. Störungen an Induktionsapparaten.

Wenn ein Induktionsapparat nicht funktioniert, so liegt der Fehler in den weitaus meisten Fällen an der Stromquelle. Man untersuche deshalb z. B. mit einer elektrischen Klingel, ob das Element noch genügend starken Strom liefert oder nicht. Um leicht transportabel zu sein, werden die Elemente sehr klein gemacht, so daß sie häufiger Neufüllung bedürfen. Ist die Chromsäure graugrün geworden, so muß sie fortgegossen werden. Zuweilen wird auch vergessen, dem gelösten chromsauren Kali Schwefelsäure zuzusetzen. Kohlen, die schon lange im Gebrauch sind, müssen ausgewechselt werden. Die Berührungsstelle zwischen Zink und Klemme muß metallisch rein sein, eventuell mit einem Messer blankgeschabt werden.

Ist das Element in Ordnung, d. h. gibt es noch genügend starken Strom, so prüfe man den Unterbrecher. Die Stellschraube mit dem Platinkontakt verstelle man nie, ohne dazu Ursache zu haben; der Kontakt soll die Hammerfeder nur leicht berühren. Der Hammer selbst soll etwa 1 mm vom Eisenkern abstehen; ist dies nicht der Fall, so ist wahrscheinlich die Feder verbogen und muß vorsichtig in ihre normale Lage zurück-

gebogen werden, zu welchem Zweck der Hammer abzuschrauben ist. Sollten die Platinkontakte verbrannt sein, was man an ihrer schwarzen Farbe erkennt, so müssen dieselben mit einem Stückchen Schmirgelleinwand blank gemacht werden.

Gibt der Apparat trotz alledem keinen Strom, so kann der Fehler nur noch an einer Beschädigung einer Verbindung oder der Wicklung selbst liegen. Dieser Fall kommt äußerst selten vor; höchstens wenn reichlich Säure verschüttet wurde, können die Verbindungen oxydiert oder gar die Wicklung beschädigt sein.

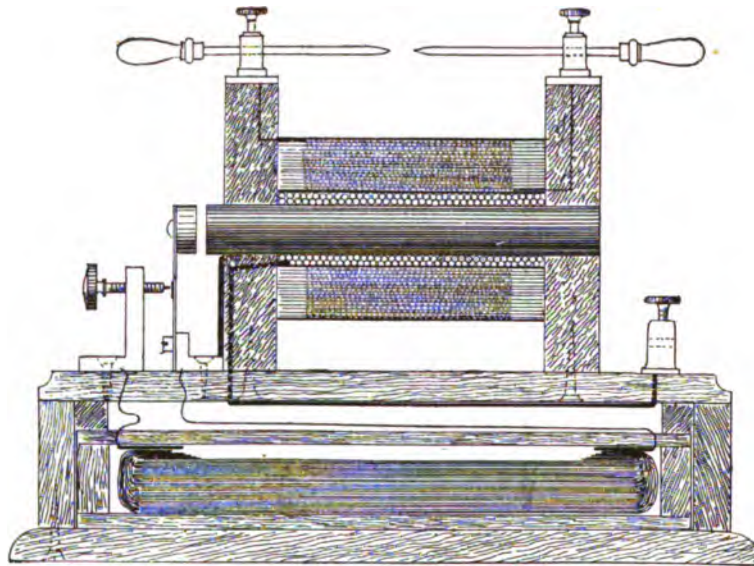
Viertes Kapitel.

Kleine Funkeninduktoren.

1. Zweck, allgemeine Angaben.

Unter einem Funkeninduktor versteht man einen Induktionsapparat, der elektrische Ströme hoher Stromstärke und niederer Spannung in solche sehr hoher Spannung (10 000 bis 1 Million Volt) verwandelt, so daß dieselben eine verhältnismäßige große Luftstrecke in Form von elektrischen Funken zu überspringen vermögen. Bei den im vorigen Abschnitte behandelten Induktionsapparaten ist dies im allgemeinen nicht der Fall; die bei ihnen erzielte Spannung ist, wie bereits erwähnt wurde, eine verhältnismäßig geringe. Ein Funkeninduktor unterscheidet sich von einem Induktionsapparat sowohl durch die zur Erzeugung der höheren Spannung notwendige größere sekundäre Windungszahl als auch durch den zum Unterbrecher parallel geschalteten Kondensator. In Figur 34 ist ein kleiner Funkeninduktor im Längsdurchschnitt gezeichnet. Wie man aus derselben ersieht, entspricht sein Bau im allgemeinen demjenigen der im vorigen Abschnitt behandelten Induktionsapparate. Der Eisenkern besteht wie bei letzterem aus einem Bündel geglühter Eisendrähte oder dünner Bleche, die Primärwicklung aus zwei bis vier Lagen eines dicken, mit Baumwolle umsponnenen Kupferdrahtes und die sekundäre Wicklung aus vielen Lagen eines dünnen, mit Seide umsponnenen Drahtes; nur sind bei den Funkeninduktoren alle Dimensionen etwas größer als bei den Induktionsapparaten. Als Unterbrecher dient fast ausnahmlos der Wagner'sche Hammer, doch würde sich dafür zweifellos der Vril-Unterbrecher, den wir später kennen lernen werden, besser eignen und in gewissen Fällen auch die einfachen Quecksilber-Unterbrecher anwendungsfähig sein. Die

sekundäre Spule ist gegen die primäre nicht verschiebbar, sondern mit dem Eisenkern in gemeinsamen Spulenwänden befestigt. Die sekundäre Spannung läßt sich daher nur durch Veränderung der primären Stromstärke regulieren. Mit den sekundären Klemmen ist eine Entladungsanordnung



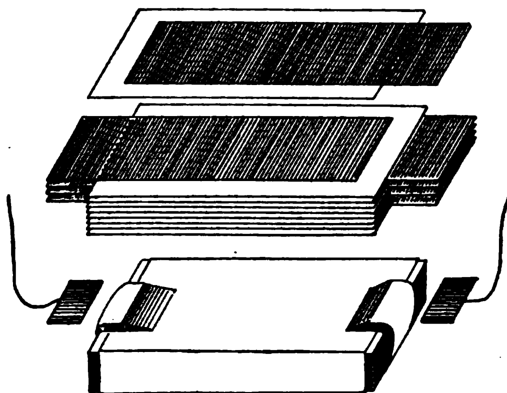
Figur 34.

verbunden, die z. B. aus zwei verschiebbaren Spießen besteht, zwischen deren bis auf eine gewisse Entfernung einander genäherten Spitzen die Funken überspringen. Je größer die Entfernung ist, bei der noch Funken überspringen, desto höher ist die vom Apparat erzeugte Spannung.

2. Konstruktion und Bau des Kondensators.

Der Funkeninduktor ist auf einem Holzkasten montiert, welcher den Kondensator enthält. Der Kondensator hat den Zweck, den beim Oeffnen des Stromes entstehenden Selbstinduktionsstrom (vergl. Seite 4) aufzunehmen, wodurch der Primärstrom und infolgedessen auch das magnetische Feld schneller abfällt, was, wie wir wissen, für die Entstehung kräftiger Induktionsströme von größtem Einfluß ist. Außerdem werden durch den Kondensator die Unterbrechungsfunken zwischen Platinspitze und Hammerfeder bedeutend abgeschwächt, so daß die Kontakte bedeutend langsamer abgenutzt werden. Der Kondensator, zuerst von Fizeau (1853) angewendet, besteht aus einer Anzahl Stanniolstreifen und paraffingetränkter Papierblätter, die abwechselnd übereinander geschichtet sind. Es ist bei der Herstellung nur gutes, festes und neues

Schreibpapier zu verwenden, da jedes, auch das kleinste Loch im Papier ein Durchschlagen des Kondensators durch den Selbstinduktionsstrom zur Folge haben würde; am besten eignet sich sogenanntes Japan-Post-Papier. Von der Dichte des Papiers überzeuge man sich durch Hindurchblicken bei hellem Licht. Das möglichst reine, auf jeden Fall säurefreie Paraffin wird in einer Pfanne geschmolzen und längere Zeit erhitzt, bis alles in ihm enthaltene Wasser verdampft ist. Darauf werden die vorher gut getrockneten Papierblätter einzeln in das Paraffin gelegt und nach dem Herausziehen abtropfen gelassen. Nach dem Erstarren des Parraffins darf kein Blatt geknickt oder sonstwie beschädigt werden. Auf die genaue Einhaltung dieser Angaben kommt sehr viel an, wenn der Kondensator gut funktionieren soll. Die Stanniolstreifen werden 1 cm länger als die Papierstreifen, letztere dafür 2 cm breiter als die Stanniolstreifen geschnitten. Man legt die letzteren so auf die Paraffinblätter, daß auf drei Seiten ein freier Raum von 1 cm bleibt, auf der vierten Seite aber das Stanniol 2 cm übersteht. Dies Ueberstehen läßt man abwechselnd rechts und links erfolgen (vergl. Figur 35). Bei größeren Apparaten, bei denen höhere Spannungen auftreten, legt man anstatt 1 jedesmal 2 Papierblätter zwischen zwei aufeinanderfolgende Stanniolstreifen, um einem Durchbrechen der Isolationsschicht vorzubeugen.



Figur 35.

Es ist durchaus nicht einerlei, wie groß die Stanniolstreifen sind und aus wieviel Blättern der Kondensator zusammengesetzt wird. Jeder Funkeninduktor gibt mit nur einer ganz bestimmten Größe des Kondensators, welche sich außerdem mit den Betriebsverhältnissen, wie z. B. Stromstärke, Unterbrechungszahl etc. ändert, die günstigsten Wirkungen. Die Kapazität des Kondensators müßte daher eigentlich variabel sein. Da dies aber schwer ausführbar ist, begnügt man sich bei den kleineren Induktoren damit, die Kapazität des Kondensators so zu wählen, daß er für den zugehörigen Funkeninduktor bei mittleren Betriebsverhältnissen die besten Resultate liefert. Dies kann nur durch Ausprobieren gefunden werden. Man setzt deshalb den Kondensator zusammen, während der Funkeninduktor unter normalen Verhältnissen arbeitet. Die Funkenstrecke

wird anfänglich mit der Vermehrung der Stanniolstreifen wachsen, sie erreicht bald ein Maximum und nimmt dann, bei einer weiteren Vermehrung der Blätter wieder ab. Die beim Maximum der Funkenstrecke gefundene Anzahl Blätter für den Kondensator behält man dann bei. Einen ungefähren Anhalt gibt die nachstehende Tabelle.

Hat man die richtige Größe des Kondensators ermittelt, so preßt man das Päckchen fest zusammen (z. B. unter einer Kopierpresse) und umwickelt es quer zu dem beiderseits vorstehenden Stanniol mit einem Streifen festen Packpapiers. Dieses wird zusammengelegt und nach einer von den beiden flachen Seiten auf das Packpapier gebogen. Dadurch kommen sämtliche gradzahligen Stanniolstreifen auf der einen, sämtliche ungradzahligen Stanniolstreifen auf der anderen Seite zur Berührung. Die beiden Pole des Kondensators werden durch Kupferblechstreifchen gebildet, welche auf die Stanniolelektroden gelegt und an welche Kupferdrähte angelötet werden (Figur 35).

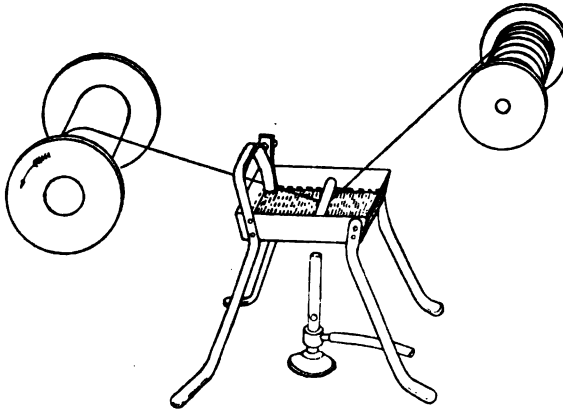
Der so hergestellte Kondensator wird nun zwischen zwei ebene, ringsum etwas größere Brettchen gelegt, welche durch Holzschrauben miteinander verbunden werden, und in das den Sockel des Induktionsapparates bildende Kästchen montiert. Die Poldrähte werden mit den Teilen des Unterbrechers, zwischen denen die Unterbrechungsfunken entstehen, also einer mit dem Halter der Hammerfeder, der andere mit der Mutter der Stellschraube der Platinspitze verbunden. Diese Verbindung ist zweckmäßig durch federnde Kontakte auszuführen, so daß der Kondensator leicht herausgenommen werden kann.

Tabelle über die Dimensionen kleiner Funkeninduktoren.

Funkenlänge	Größe der Holzspule mm		Drahtbündel mm		Wicklung				Kondensator	
					Primär		Sekundär		Zahl der Stanniolblätter	Größe der Stanniolblätt.
mm	Länge	Dicke	Länge	Dicke	Draht	ca. m	Draht	ca. m		mm
4	55	30	65	10	0,8	3	0,10	350	20	100·40
6	80	40	85	12	0.8	4	0,10	400	30	140·70
8	100	50	110	14	0,9	5	0,10	500	40	160·80
10	120	60	130	16	0.9	5	0,15	600	50	200·90
15	140	70	150	17	1,0	6	0,15	1600	60	260·100
20	180	90	190	18	1,0	8	0,15	2500	75	300·150
30	210	100	220	20	1,0	8	0,20	4000	100	360·180
40	260	120	270	22	1,2	8	0,20	5000	120	420·200
50	320	140	330	24	1,2	10	0,20	6000	150	500·250
60	320	160	330	24	1,2	15	0,20	7000	200	500 250

3. Konstruktion und Wicklung der Induktionsrolle.

Die primäre Spule wird aus zwei Lagen doppelt mit Baumwolle besponnenen Kupferdrahtes hergestellt und mit zwei Lagen Paraffinpapier bedeckt. Direkt darauf wird die sekundäre Wicklung angeordnet, und zwar lagenweise, die Windungen dicht aneinander liegend, möglichst gleichmäßig. Man wickelt aber den feinen mit Baumwolle oder Seide isolierten Draht nicht in der ganzen Länge der Spule, sondern bleibt von jeder Seite 8 bis 15 mm ab. Bei den kleinsten Funkeninduktoren, etwa bis zu 15 mm Schlagweite, genügt es, zwischen je zwei Lagen Draht eine Lage Paraffinpapier zu legen, bei den größeren wird der Draht beim Aufwickeln durch eine Schale mit geschmolzener Isoliermasse unter einer Glasstange hindurchgezogen (Fig. 36). Diese Masse besteht aus gleichen Gewichtsteilen Harz (dieses ist zuerst zu schmelzen!) und Wachs, dem etwas venetianischer Terpentin zugesetzt wird, oder aus zwei Teilen Harz, einem Teil Wachs und einem Teil Paraffin. Nach Worts kann man sich auch einer aus 16 Teilen Paraffin, 2 Teilen Harzpulver, 4 Teilen Bienenwachs und 1 Teil Asphalt bestehenden Isolationsmasse bedienen. Sehr zu empfehlen ist auch eine Masse, die unter dem Namen „Picein“ im Handel ist. Der durch die heiße Masse gezogene Draht (solcher mit einfacher Baumwolle-Isolation genügt hierfür vollständig) passiert eine mit Leder überzogene Klemme, die alle überflüssige Masse abstreift und in den Schmelztiegel zurücktropfen läßt. Die Drehung der Spule muß ganz gleichmäßig erfolgen, weil sonst der feine Draht leicht zerreißt.*)


Figur 36.

Ist der Draht gerissen, so werden die beiden Bruch-Enden mit einem Stückchen grober Schmirgelleinwand blank gemacht, zusammengedreht und verlötet. Das Löten erfolgt mit einem ganz kleinen Lötkolben am

*) Bei einer etwas ungleichförmigen Geschwindigkeit (z. B. beim Wickeln auf einer Fußtritt-Drehbank) empfiehlt es sich, die Vorratsspule nicht auf einen festen Dorn, sondern auf einem starken Bindfaden, der durch die Bohrung der Spule gesteckt wurde, so aufzuhängen, daß die Spule etwas schaukeln kann, während sie sich um den Bindfaden dreht.

besten mittels Lötpasta wie z. B. Tinol oder mittels Zinn. Im letzteren Falle darf kein säurehaltiges Lötwasser benutzt werden, weil sonst der Draht mit der Zeit durchfressen und die Spule unbrauchbar werden könnte; man wende daher nur Lötfett oder Kolophonium an. Zur Kontrolle darüber, ob der Draht intakt oder gerissen ist, bedient man sich eines Galvanometers, das mit dem Anfang des Drahtes auf der zu wickelnden Spule und dem Ende auf der Vorratsspule in einen Stromkreis eingeschaltet wird.

Eine Isolierung der einzelnen Lagen voneinander durch Papier ist im allgemeinen nicht nötig; bei den kleineren Apparaten werden vielmehr die einzelnen Lagen direkt übereinander gewickelt und kleben durch die Isoliermasse fest zusammen. Will man Papier dazwischen legen, so geschieht es mehr aus dem Grunde, immer gleichmäßige, volle Lagen zu bekommen, als wegen der besseren Isolation. Jede folgende Lage muß, wenn kein Zwischenlegepapier benutzt wird, immer etwas kürzer sein als die vorhergehende, um ein Abgleiten des Drahtes über das Ende der Wicklung zu verhüten. Nach Beendigung des Wickelns wird das innere Ende des Drahtes an die eine obere Klemme der Sekundärspule geführt, das andere, äußere Ende an die andere. Nunmehr wird um die sekundäre Wicklung ein Rohr aus gerolltem Papier in einem Abstande von einigen Millimetern angebracht und der so entstehende Zwischenraum, zugleich mit demjenigen zwischen Drahtrolle und Spulenrändern, mit Wachs-Isoliermasse ausgegossen. Die Isolation ist dann für die bei diesen Apparaten auftretenden Spannungen völlig ausreichend.

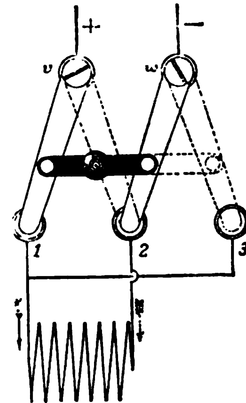
4. Pole der sekundären Spule.

Es ist schon früher darauf hingewiesen worden, daß der durch den primären Oeffnungsstrom induzierte Sekundärstrom infolge seines zeitlich kurzen Verlaufs bis zu viel höherer Spannung ansteigt und daher viel kräftigere Wirkungen auszuüben vermag, als der durch den Schließungsstrom induzierte. Bei den Funkeninduktoren ist dieser Unterschied infolge der Anwendung des Kondensators noch größer als bei den Induktionsapparaten derart, daß in den Funken zwischen den auf möglichst große Schlagweite eingestellten Entladern eigentlich nur der sekundäre Oeffnungsstrom in die Erscheinung tritt und der Nutzstrom somit intermittierenden Gleichstrom darstellt. Man nennt denjenigen Pol der sekundären Wicklung, von welchem der vom Oeffnungsstrom induzierte Strom ausgeht, den „positiven Pol der Sekundärspule“.

5. Stromwender.

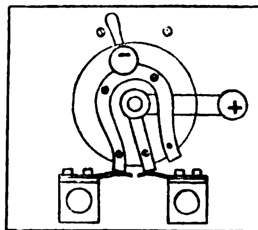
Durch Umschaltung der Batteriedrähte an den Polklemmen des Apparates kann der primäre Strom umgekehrt und somit auch die Pole

der Sekundärspule gewechselt werden. Um diesen Polwechsel leichter bewirken zu können, bedient man sich der Stromwender oder Kommutatoren. Die einfachste Form eines solchen ist die in Figur 37 abgebildete. Zwei Hebel sind um die Zapfen *v w* drehbar, die mit dem positiven und negativen Pol der Betriebsbatterie verbunden sind. Beide Hebel sind durch eine Schiene aus isolierendem Material zwangsläufig verbunden und lassen sich aus der gezeichneten Stellung in die punktiert angedeutete drehen. In der gezeichneten Stellung geht der Strom von der positiven Stromzuführung in den Zapfen *v*, durch den linken Hebel zum Kontakt *1*, in der Pfeilrichtung durch die Primärspule und von ihr durch den Kontakt *2* und den rechten Hebel nach dem Zapfen *w* und zum negativen Pol der Batterie zurück. Wird das Hebelpaar in die punktiert gezeichnete Lage gebracht, so läuft der positive Strom von der Batterie nach dem Zapfen *v* und dem linken Hebel zum Kontakt 2, und in einer dem Pfeil entgegengesetzten Richtung durch die Primärspule zum Kontakt *3* und von da zum negativen Pol der Batterie zurück. Durch einfaches Verschieben des Hebelpaares wird somit der primäre Strom in seiner Richtung umgekehrt.

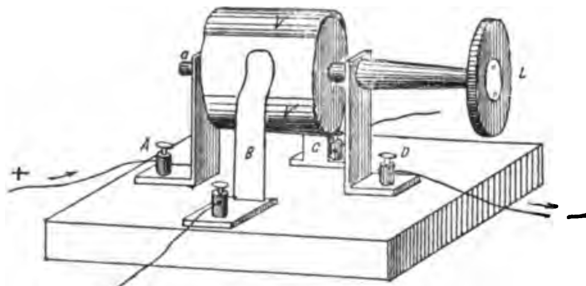


Figur 37.

Weniger gebräuchlich ist der Bertin'sche Stromwender, dessen Konstruktion aus der Abbildung Figur 38 ohne nähere Erläuterung verständlich sein dürfte.

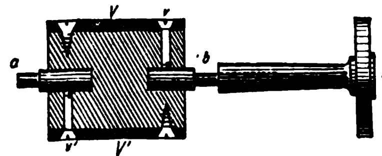


Figur 38.



Figur 39.

Etwas komplizierter, aber dauerhafter und zugleich als Ausschalter dienend, ist der in Figur 39 und 40 abgebildete Ruhmkorff'sche Stromwender. Der positive Strom geht von der Betriebsbatterie zur Klemme *A* und durch den Zapfen *a* und die Schraube *v'* in die auf einer Hartgummiwalze befestigte Messingschiene *V'*, die sich in der Zeich-



Figur 40.

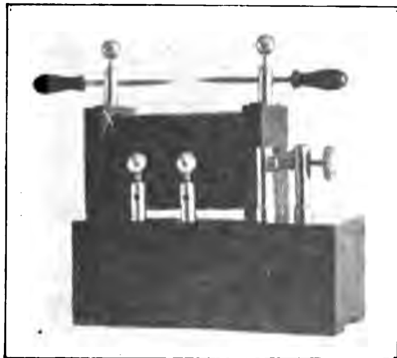
nung unten befindet. Dreht man das Kordelrad *L* im Sinne des Uhrzeigers um 90°, so kommt die Messingschiene *V'* mit der Feder *B* in leitende Berührung und der Strom geht von der Klemme *B* nach der Primärspule. Von dieser gelangt er nach der hinteren Feder *C*, von da in die Messingschiene *V* und die Schraube *v*, in den Zapfen *b* und die Klemme *D*, von hier kehrt er zum negativen Pol der Batterie zurück. Wird dagegen die Kordelschraube *L* um 180° gedreht, also in die der vorigen entgegengesetzten Lage gebracht, so wird der positive Batteriestrom über Klemme *A*. Zapfen *a*, Schraube *v'*, Schiene *V'* nach der Feder *C* gelangen und die Primärspule in der entgegengesetzten Richtung wie vorhin durchlaufen, um dann über *B*, Schiene *V*, Schraube *v*, Zapfen *b* und Klemme *D* nach dem negativen Batteriepol zurückzukehren. Dieser letztere Stromwender wird nur bei den größeren der hier behandelten Funkeninduktoren und bei den im nächsten Kapitel zu betrachtenden großen Funkeninduktoren angewendet.

6. Stromquellen.

Als Stromquellen für den Betrieb kleiner Funkeninduktoren kommen die gleichen wie beim Betrieb der Induktionsapparate (vergl. S. 23 bis 26) in Betracht. Am meisten gebräuchlich sind wohl Akkumulatoren.

7. Störungen und Fehler bei kleinen Funkeninduktoren.

Störungen sind bei kleinen Funkeninduktoren im allgemeinen seltener als bei den Induktionsapparaten und beschränken sich in der Hauptsache auf schlechten Kontakt beim Hammerunterbrecher. Dagegen sind etwa vorkommende Beschädigungen in der Isolation der Spulen und des Kondensators meist viel schwererer Natur. Funkt der Unterbrecher stark, so ist dies ein Zeichen, daß der Kondensator durchgeschlagen ist. Man kann dann meist während des Betriebes das Ueberspringen der Funken im Apparatsockel hören. In diesem Falle nehme man den Kondensator heraus und untersuche ihn. Ist der Draht in der sekundären Spule gerissen, oder die Isolation durchbrochen, so muß die Spule abgewickelt werden bis man die schadhafte Stelle gefunden hat. Den abgewickelten Draht wickle man stets auf eine Spule oder Haspel, da ein Entwirren fast unmöglich ist, wenn er in Unordnung gerät.

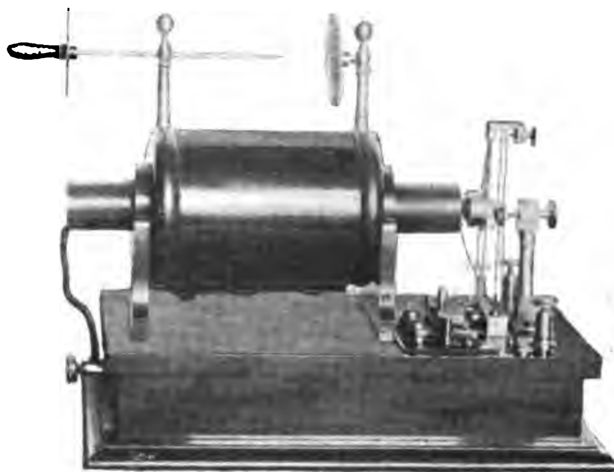


Figur 41.

8. Ausgeführte Apparate.

In Figur 41 ist ein kleiner Funkeninduktor von Kravogl in Brixen

(Tirol) abgebildet. Derselbe liefert den schlagendsten Beweis dafür, daß sich mit einer verhältnismäßig geringen Drahtmenge hervorragend günstige Wirkungen erzielen lassen. Die Induktionsspule, die eine Wickellänge von 48 mm aufweist, ist aus 90 g Draht gewickelt. Mit zwei Flaschen-



Figur 42.

Elementen betrieben, gibt der Apparat 25 bis 26 mm lange Funken zwischen Bürste und Platte.

Figur 42 zeigt einen vom Verfasser gebauten kleinen Induktor für 40 bis 45 mm Schlagweite, der mit einem Vril-Unterbrecher ausgerüstet ist.

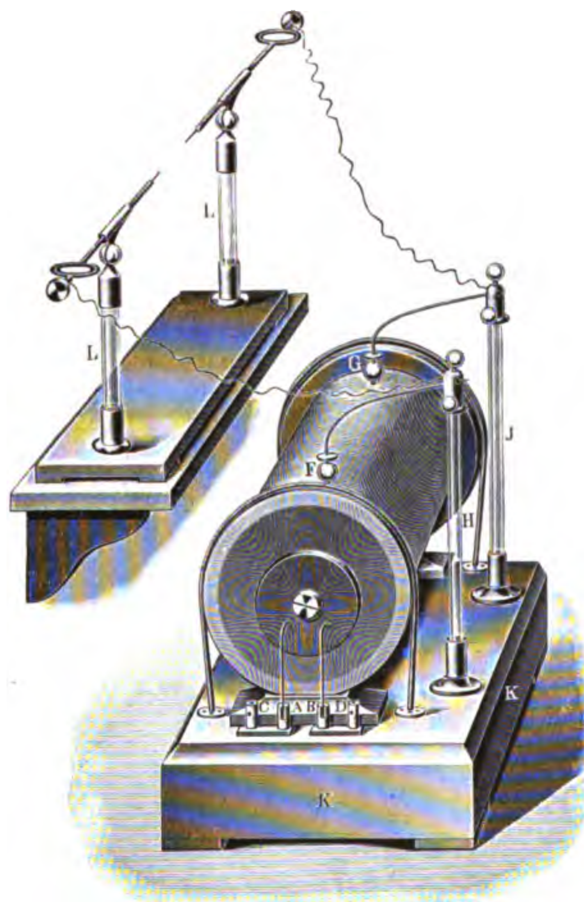
Fünftes Kapitel.

Große Funkeninduktoren.

1. Allgemeine Angaben. Wicklung der sekundären Spule in einer Abteilung.

Durch Vergrößerung der Dimensionen, namentlich aber durch Aufwicklung eines sehr langen, dünnen Drahtes in der sekundären Spule, kann man die Spannung steigern, um möglichst große Schlagweiten zu erzielen. Dies geschah zunächst in derselben Weise, die wir bei den kleinen Funkeninduktoren kennen gelernt haben, nämlich so, daß man den Draht lagenweise über die ganze Länge der Spule, jede Lage also in Form eines hohlen Zylinders, wickelte. Ruhmkorff, ein deutscher Mechaniker in Paris, der um 1850 in Europa zuerst Funkeninduktoren

größerer Dimension herstellte, wendete diese Methode an; es findet sich wohl noch heute in manchem Laboratorium ein derartig hergestellter Apparat (Figur 43). Bei den kleineren Ruhmkorff'schen Apparaten von 20 cm Funkenlänge besteht die Induktionsspule aus 33 000 Windungen (15 km) eines 0,3 mm dicken, bei den größten von 45 cm Funkenlänge aus 200000 Windungen (100 km) eines 0,2 mm dicken, mit Seide übersponnenen Kupferdrahtes. Die einzelnen Lagen sind mit einer Schicht geschmolzenen Schellacks überzogen.

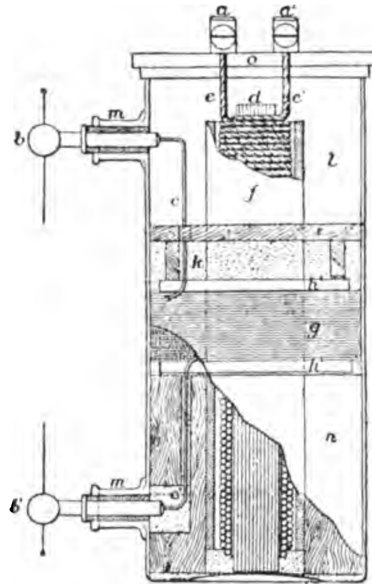


Figur 43.

Von dieser Art zu wickeln ist man längst abgegangen, und zwar aus folgendem Grunde: Wie wir gesehen haben (vergl. S. 6), summieren sich die in den einzelnen Windungen einer Drahtspirale induzierten Ströme; die Spannung wächst mit der Anzahl der Windungen. Nun befinden sich in einer Lage der sekundären Wicklung eines großen Induktors aber viele hundert Windungen; es besteht somit zwischen der letzten Windung der zweiten Lage und der unmittelbar darunter liegenden ersten Windung der ersten Lage eine beträchtliche Spannungsdifferenz. Sie ist so groß, daß sie die isolierende Zwischenlage zu durchschlagen droht. Ist aber erst einmal ein solcher Durchbruch zwischen zwei aufeinander folgenden Lagen erfolgt, so ist dadurch der wirksame Teil der Induktionsspule um so viele Windungen, als beide Lagen enthalten, vermindert. Noch ungünstiger ist es, wenn sich an der Durchbruchsstelle ein metallischer Kurzschluß bildet, weil dann

die kurzgeschlossenen Lagen den größten Teil des Induktionsstromes aufnehmen und sich so erhitzen, daß gewöhnlich eine gänzliche Zerstörung der sekundären Wicklung eintritt.

Erwähnt sei an dieser Stelle auch noch ein Vorschlag J e a n ' s , zwischen je zwei aufeinanderfolgende Lagen der sekundären Wicklung Löschpapier zu legen und nach dem Wickeln die ganze Spule in einem mit Terpentinöl angefüllten Glasgefäß anzuordnen. Aehnlich sind noch heute die Induktoren stehender Form von R o c h e f o r t und W y d t s konstruiert, deren sekundäre Wicklung in einer teigartigen, isolierenden, aus in Petroleum aufgelöstem Paraffin bestehenden Masse angeordnet ist (Figur 44).

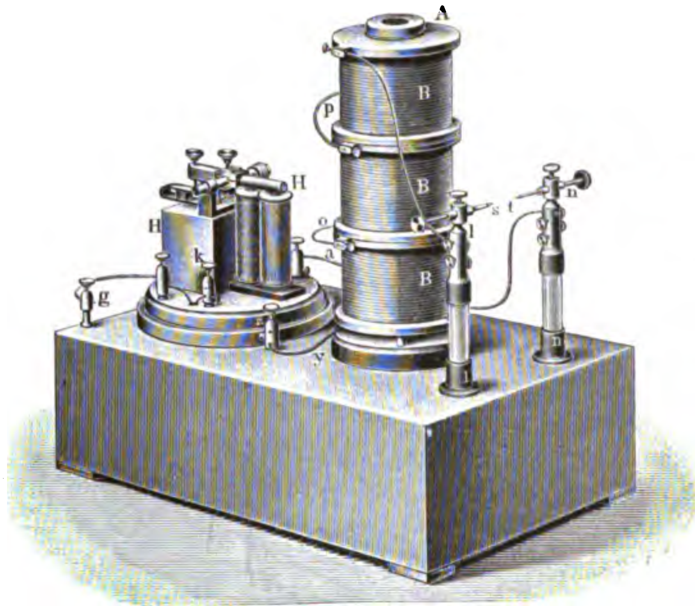

Figur 44.

Die sekundäre Spule besteht nur aus einer Sektion (600 Gramm 0,16 mm starkem Draht), die in der Mitte der Primärspule durch Holzgestell und Glasplatten getragen wird. Die primären Klemmen befinden sich oben, die sekundären seitlich, indem die Enden der Drähte der Sekundär-Spule durch seitliche rohrartige Ansätze des Induktorgefäßes durchgeführt sind. Für eine Schlagweite von 20 bis 25 cm ist eine Batterie von 6 Volt Spannung erforderlich; der Stromverbrauch beträgt dabei 3 bis 4 Amp.

2. Wicklung der sekundären Spule in mehreren Abteilungen.

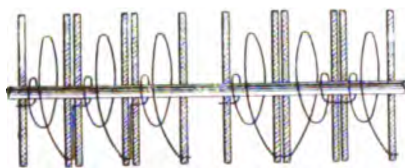
Die Isolationsschwierigkeiten wachsen mit der Größe der Induktionsspule, d. h. mit der zu erzielenden Funkenlänge. Man ging daher bald dazu über, die Sekundärspulen der großen Funkeninduktoren aus mehreren einzelnen, kürzeren Spulen zusammenzusetzen. P o g g e n d o r f f war wohl der erste, der auf diesen Ausweg hinwies (1854). Die älteren Apparate dieser Art von S t ö h r e r , die eine vertikale Anordnung besitzen, sind aus drei Einzelspulen in der Sekundärrolle zusammengesetzt (vergl. Figur 45). Um in diesen drei Spulen, die in gleichem Sinne gewickelt sind, die Windungsrichtung beizubehalten, mußte das äußere Ende der unteren Wicklung mit dem inneren Ende der darüberstehenden Spule verbunden werden. Allein gerade diese Art der Verbindung brachte die Gefahr mit

sich, daß eine ganze Spule außer Wirkung gesetzt wird, wenn der Verbindungsdraht nicht genügend isoliert ist. War aber schon die Isolation der beiden Drähte zweier aufeinanderfolgender Lagen des Ruhmkorf-



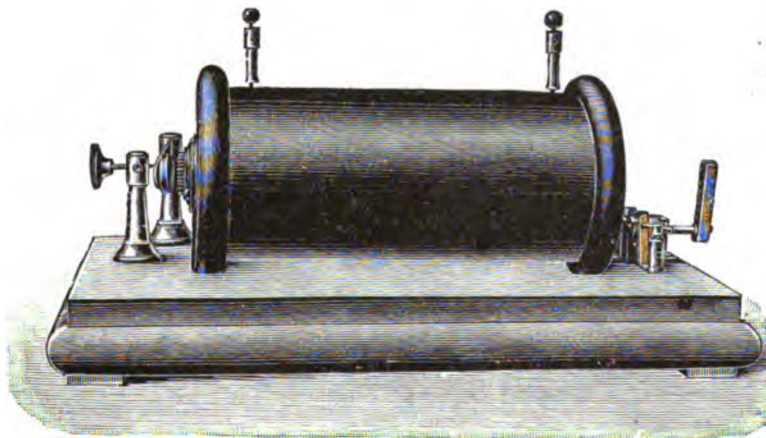
Figur 45.

schen Apparates schwierig, so stößt dieselbe natürlich bei den viel größeren Spannungsdifferenzen zweier Spulen auf fast unüberwindliche Schwierigkeiten. Stöhrer überwand diese Schwierigkeiten dadurch, daß er die aufeinanderfolgenden Spulen in verschiedenem Sinne herum aufwickelte. Figur 46 zeigt schematisch links die alte und rechts die neue Stöhrersche Methode. Ist bei letzterer die erste Spule z. B. rechts herumgewickelt, so ist die zweite links herum, die dritte wieder rechts herumgewickelt.


Figur 46.

Wird nun das äußere Drahtende der ersten, rechts herumgewickelten Spule mit dem äußeren Ende der zweiten, links herumgewickelten Spule verbunden, so laufen die Drähte in beiden Spulen in gleichem Sinne, es geht nur der Draht in der ersten Spule von innen nach außen und bei der zweiten von außen nach innen. Das gleiche ist bei der dritten Spule der Fall, wenn das innere Ende der zweiten Spule (links gewickelt) mit dem inneren Ende der dritten (rechts herumgewickelten) Spule verbunden wird.

Somit läuft der Draht in der ganzen, aus drei Teilen zusammengesetzten Sekundärspule in gleichem Sinne, ebenso wie bei dem älteren Verfahren, aber die Schwierigkeit der Isolation des Verbindungsdrahtes fällt fort, da ein solcher gar nicht mehr vorhanden ist. Allerdings müssen die einzelnen Spulen voneinander isoliert werden, aber das kann durch dazwischen gelegte Scheiben aus Glas, Glimmer, Preßspan oder dgl. leicht bewirkt werden. Je größer eine Teilspule im Durchmesser ist, desto schmaler wird sie sein müssen, damit ein Spannungsausgleich innerhalb der Spule vermieden wird. Bei den größten Stöhrer'schen Apparaten mit ca. 20 cm Funkenlänge bestand die primäre Spule aus fünf Lagen zu je 120 Windungen

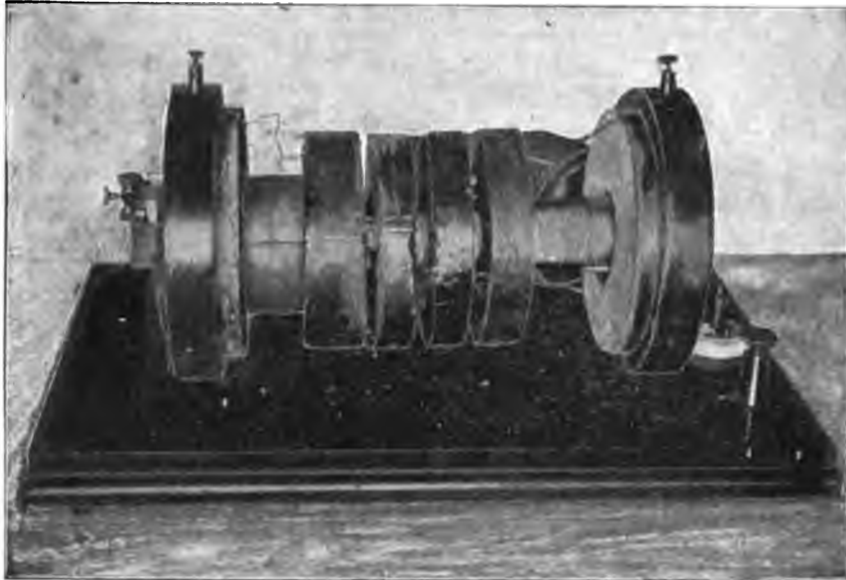


Figur 47

eines 2 mm starken Drahtes, die sekundäre Wicklung aus 37 000 Windungen (ca. 12 km) eines 0,15 mm starken, mit Seide besponnenen Drahtes.

In Figur 47 ist ein auf diese Weise aufgebauter Funkeninduktor von Keiser & Schmidt in Berlin dargestellt, der natürlich äußerlich nichts Besonderes aufweist; seine Bauart würde erst beim Auseinandernehmen und Abschmelzen der Isolationsschicht zu erkennen sein. Figur 48 zeigt einen solchen auseinandergenommenen Funkeninduktor englischen Ursprungs. Man sieht deutlich, daß die Sekundärspule aus vier Sektionen oder Teilspulen besteht, welche auf der teilweise sichtbaren Primärspule sitzen und von ihr durch eine Zwischenlage aus Pappe isoliert sind. Die einzelnen Teilspulen sind nicht durch Isolationsscheiben, sondern durch einen ziemlich breiten Luftraum voneinander getrennt. Diese Methode ist nur bei Apparaten empfehlenswert, bei denen es auf einen wohlfeilen Verkaufspreis ankommt, deren Leistungsfähigkeit und Nutzeffekt aber weniger in Betracht kommt. Will man schon Hartgummi-Isolationsscheiben vermeiden, so sollte wenigstens das Ausgießen der Zwischenräume mit Wachs-Isola-

tionsmasse erfolgen. In der Tat stellen viele Firmen kleinere Funkeninduktoren auf diese Weise her, weil die Wicklung der Teilspulen dann

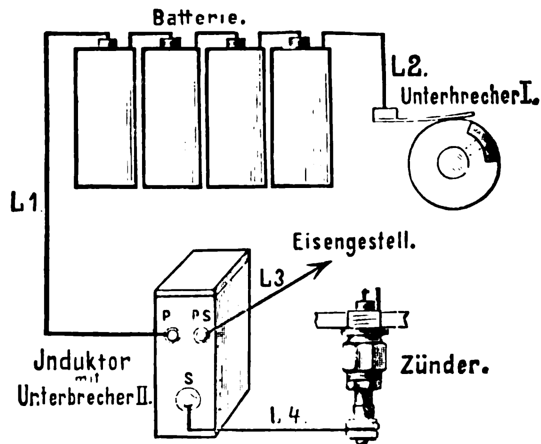


Figur 48.

fabriksmäßig erfolgen kann. Zum Beispiel sind die meisten der heute verwendeten Zündinduktoren für Explosionsmotoren so hergestellt.



Figur 49.



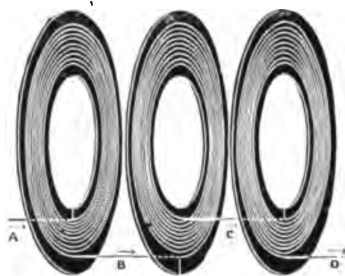
Figur 50.

Figur 49 zeigt einen derartigen Apparat der Firma Dr. Max Levy in Berlin. Derselbe ist mit einem schnellschwingenden Hammer-Unterbrecher versehen. Außer diesem ist noch ein zweiter Unterbrecher

in Form eines Schleifkontaktes auf der Motorwelle vorhanden (vergl. Figur 50), der den Primärstrom im geeigneten Augenblick schließt. Die hochgespannten Sekundärströme werden den Polen der Zündvorrichtung, die durch eine Porzellanröhre in den Gasraum des Explosionszylinders geführt ist, zugeleitet und bewirken dort durch ein starkes Büschel kräftiger Entladungsfunken eine absolut sichere Zündung des Gasgemisches.

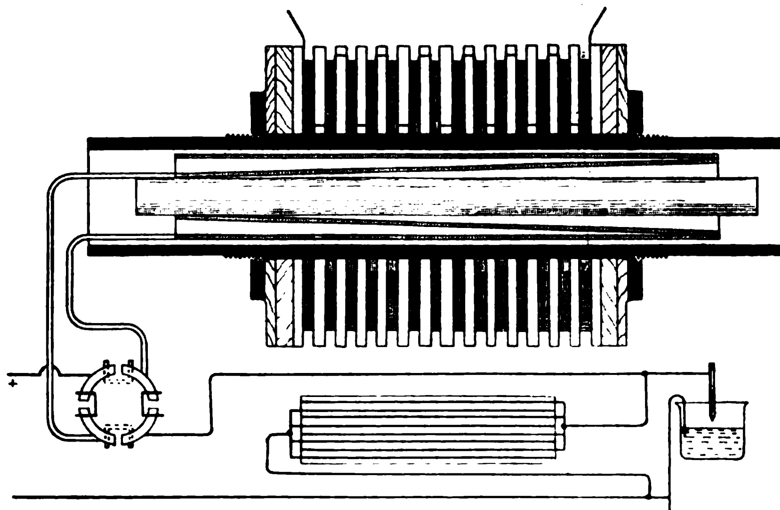
3. Wicklung der sekundären Spule in dünnen Scheiben.

Bei den größeren Funkeninduktoren ist man mit der Zeit zu immer schmaleren Spulen übergegangen und wickelt heute bei großen Funkeninduktoren die Spulen fast ausnahmslos in Form von dünnen Scheiben (Sektionen), die nur einige Millimeter dick sind, oft sogar nur eine Drahtstärke (0,2 mm) betragen. (Ritchie und Miller, vergl. Figur 51).



Figur 51.

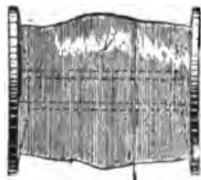
Figur 52 zeigt die Anordnung eines aus zahlreichen Sektionen aufgebauten Funkeninduktors nebst Schaltungsschema. Hingewiesen sei insbesondere darauf, daß einerseits der innere Durchmesser der Sektionen etwas größer als der äußere Durchmesser des die primäre und sekundäre Wicklung trennenden


Figur 52.

Isolationsrohres, andererseits der äußere Durchmesser etwas kleiner ist als jener der die einzelnen Sektionen von einander trennenden Isolationsscheiben.

4. Anfertigung einzelner Scheiben und Aufbau der Sekundärspule.

Zur Herstellung der Spulensektionen für große Funkeninduktoren benötigt man eine Vorrichtung, wie solche Figur 53 veranschaulicht. Dieselbe besteht aus einer Metallscheibe *S'*, deren Durchmesser sich nach der Größe der herzustellenden Spule richtet. Die Nabe der Scheibe hat ein Gewinde, mittels dessen sie sich auf den Gewindezapfen einer Drehbankspindel aufschrauben läßt, so daß die Scheibe wie eine Planscheibe der Drehbank läuft. Im Mittelpunkt dieser Planscheibe sitzt eine Schraube mit Flügelmutter. Durch letztere kann eine zweite Scheibe *S''* gegen die Planscheibe gedrückt werden. Man fertigt sich nunmehr einen Metallring *r*, dessen Durchmesser dem Loch der anzufertigenden Spule entspricht, das, wie bereits hervorgehoben, etwas größer (je nach der Größe des Induktors 2 bis 15 mm) als der äußere Durchmesser des Hartgummirohres ist, und dessen Dicke gleich der Dicke der Spule ist. Dieser Ring ist an seinem Umfange etwas konisch, damit er später aus der Spule leicht herausgenommen werden kann; er wird zwischen die beiden Scheiben *S'* und *S''* gelegt und durch die Flügelmutter fest angezogen. Nun wird der Anfang des aufzuspulenden Drahtes (mit Baumwolleumspinnung) von der passend angebrachten Vorratsspule (vergl. S. 31) abgezogen, unter dem Glasstabe der Pfanne mit geschmolzener Isoliermasse (vergl. Figur 36) hindurchgezogen und durch die kleine Bohrung der Scheibe *S''* gesteckt. Nachdem noch die mit Leder bezogene Klemme zum Abstreifen der überflüssigen Isoliermasse um den Draht gelegt ist, läßt man die Scheibe rotieren, wobei sich der Draht in dem Zwischenraum beider Scheiben aufwickelt. Ist der Zwischenraum größer als 2 mm, so muß man den Draht etwas hin- und herführen, damit die Wicklung möglichst gleichmäßig wird, bei sehr dünnen Sektionen läuft der Draht von selbst richtig.

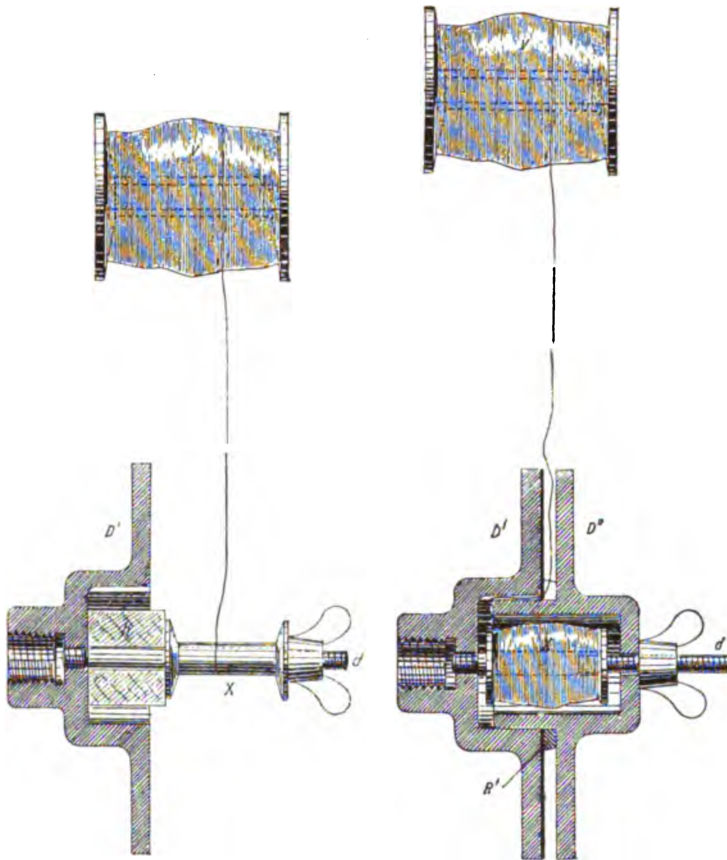


Figur 53.

Ist der Zwischenraum voll, so warte man, bis die Isoliermasse erstarrt ist; die Scheibe kann dann herausgenommen werden. Sollte die Scheibe an den Metallwänden festkleben, so erwärmt man letztere mit einer Bunsenflamme und zieht sie unter drehender Bewegung ab; ebenso wird der Metallring entfernt. Man setzt darauf den Apparat wieder zusammen

und wickelt eine andere Spule. Bei allen Spulen ist die Drehrichtung die gleiche. Sind nun eine genügende Anzahl Spulen fertiggestellt, so werden dieselben auf ihre Leitfähigkeit geprüft, ehe man sie zusammensetzt.

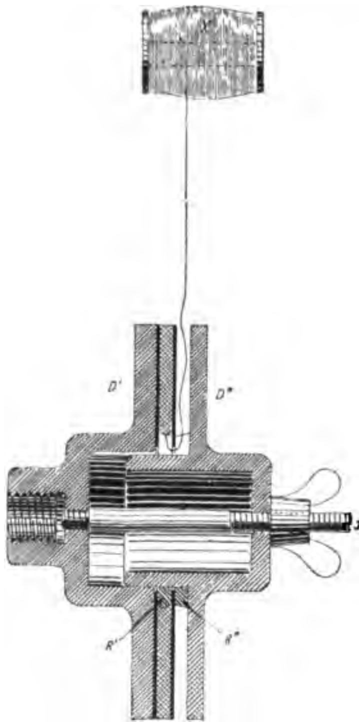
Die Zusammensetzung der einzelnen Sektionen erfolgt durch Uebereinanderlegen auf einem senkrecht stehenden Dorn von passendem Durch-



Figur 54. Figur 55.

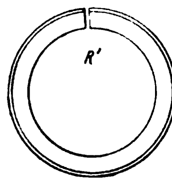
messer. Man fertigt sich aus Hartgummi, Mikanit, Preßspan oder mehreren aufeinander gepreßten Blättern paraffinierten Papiers Isolationsscheiben, die genau auf das Isolationsrohr passen und deren äußerer Durchmesser etwas größer als derjenige der gewickelten Scheiben ist Zuunterst legt man eine solche Isolationsscheibe und symmetrisch darauf eine Drahtspule. Damit sich letztere nicht verschiebt, fixiert man sie mit etwas geschmolzener Isolationsmasse. Zu achten ist auf die Umlaufsrichtung des äußeren Drahtendes; dieselbe stimme z. B , wenn die Scheibe horizontal liegt, von oben gesehen, mit der des Zeigers einer Uhr überein. Auf die Spule kommt nun eine zweite

Isolationsscheibe und darauf eine neue Sektion. Bei dieser muß das äußere Drahtende im entgegengesetzten Sinne der Uhrzeigerbewegung verlaufen. Ist dies nicht der Fall, so drehe man die Scheibe um, d. h. ihre obere Fläche nach unten. Nun kommt wieder eine Isolationsscheibe und darauf wieder eine Sektion, bei der der äußere Draht im Sinne des Uhrzeigers läuft usw., bis die Spule die genügende Höhe erreicht hat. Nunmehr werden abwechselnd die inneren und die äußeren Enden je zweier aufeinander folgenden Sektionen miteinander verbunden, so daß der Draht durch die ganze Spule in immer derselben Umwindungsrichtung fortläuft. Die Enden werden zu diesem Zweck blank gemacht, zusammengedreht und (ohne Anwendung von Lötwasser!) mittels eines kleinen Lötkolbens mit Lötpasta (Tinol) oder Zinn verlötet. Die Verbindungsstellen der einzelnen Spulen werden nicht alle auf einer Seite der ganzen Rolle, sondern in Spiralform ringsherum verteilt, damit die Punkte mit hoher Spannungsdifferenz möglichst weit voneinander entfernt liegen.



Figur 56.

Die Verbindung der äußeren Drahtenden bietet keine Schwierigkeiten, die der inneren Enden nur dann, wenn die innere Oeffnung der Spulen so klein ist, daß man mit der Hand nicht hineinkommen kann.



Figur 57.

In diesem Falle ist die vom Verfasser ersonnene Methode einer Wicklung von Wert, bei welcher je zwei aufeinanderfolgende Spulen aus einem Drahtende hergestellt werden, die innere Verbindung und Lötung also ganz fortfällt. Die zu dieser Wicklung erforderliche Einrichtung ist von der vorhin beschriebenen etwas verschieden; sie ist in Figur 54 bis 57 im Querschnitt gezeichnet. Die Scheibe und der Deckel sind so gebildet, daß sie zusammengesetzt einen Hohlraum einschließen. Dieser dient zur Aufnahme einer kleinen Hilfsspule *x*, welche so groß ist, daß sie das zu einer Sektion nötige Drahtquantum aufnehmen kann und sich auf den Dorn *d* leicht aufschieben läßt.

Zunächst wird der Deckel *D''* abgenommen, ein Holzröllchen *h* auf

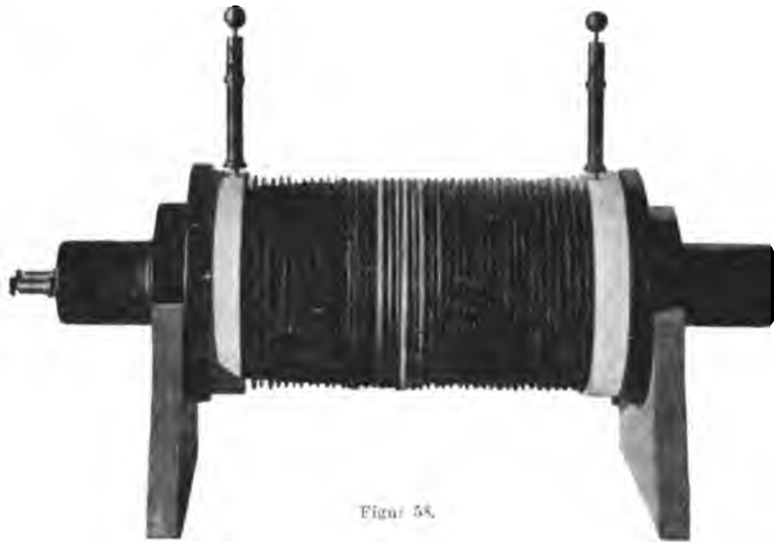
den Dorn gesteckt und darauf die Hilfsspule *x* mittels der Flügelmutter befestigt (Figur 54). Von der Vorratsspule *V* wird nun die Hilfsspule voll Draht gewickelt, ohne ihn durch die heiße Isoliermasse zu ziehen. Ist die Hilfsspule voll, so wird sie, ohne daß der Draht abgeschnitten wird, vom Dorn *d* heruntergezogen, das Holzröllchen *h* entfernt und, nachdem auf die Scheibe *D'* eine Isolationsscheibe (mit etwas Isoliermasse angeklebt) gelegt wurde, in die Höhlung der Scheibe *D'* gesteckt und der Deckel *D''* mit dem konischen Ringe *R'* darauf befestigt (Figur 55). Der die Hilfsspule mit der Vorratsrolle verbindende Draht läuft durch eine in der Scheibe *D'* und dem Ringe *R'* angebrachte, in der Zeichnung angedeutete Nut (vergl. Figur 57). Nunmehr kann die Sektion, wie oben beschrieben, gewickelt werden, nachdem der Draht in die Isoliermasse und die Abstreichklemme gebracht worden ist. Ist die Sektion fertig, d. h. der Zwischenraum *D' R' D''* voll, so wird der Draht abgeschnitten. Nach dem Erstarren der Scheibe wird der Deckel *D''* abgenommen, auf die gewickelte Drahtspule eine Isolationsscheibe gelegt, die Hilfsspule *x* herausgezogen und an die Stelle der Vorratsspule gebracht. Nun wird der Deckel *D''* mit einem Ringe *R''* versehen und mittels der Flügelmutter gegen die bereits gewickelte Sektion gepreßt (vergl. Figur 56). Nachdem der von der Hilfsspule kommende Draht durch die Schale mit Isolationsmasse und die Abstreifklemme geleitet ist, kann das Wickeln der zweiten Sektion erfolgen. Bei dieser läßt man die Vorrichtung im entgegengesetzten Umdrehungssinne als bei der ersten rotieren. Nach dem Erstarren der Masse wird die Doppelsektion abgenommen und die beiden Ringe *R' R''* entfernt; sollten sie kleben, so werden sie durch eine Bunsenflamme erwärmt.

Auf diese Weise werden eine genügende Anzahl Doppelsektionen hergestellt, die dann auf dieselbe Art, wie vorhin beschrieben, übereinander gebaut und deren äußere Enden miteinander verbunden werden.

Man überzeuge sich, daß alle Sektionen leitende Verbindung haben. Wegen des hohen Widerstandes der zusammengesetzten Spule ist dazu ein sehr empfindliches Galvanometer oder eine hohe Batteriespannung erforderlich.

5. Weitere Behandlung der zusammengesetzten Spule.

Die auf die beschriebene Weise zusammengesetzte Spule wird nun in einen Wärmeschrank gebracht und erwärmt. Beginnt die Isolationsmasse zu schmelzen, so wird die Spule zusammengepreßt und bildet nach dem Abkühlen dann eine feste Masse. Zu ihrer Vervollständigung dienen noch zwei aus weichem Holz gedrehte Scheiben, in welche die zur Aufnahme der Polklemmen beziehungsweise für die Entladungs-Anordnung erforderlichen Messingstücke eingelassen werden. Figur 58



Figur 58.

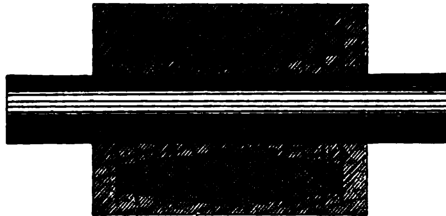
zeigt eine in diesem Zustande befindliche Sekundärspule mit eingeschobenem Hartgummirohr und Primärspule.

6. Umgießen der sekundären Spule.

Die Spule mit Endscheiben (ohne Rohr!) wird nunmehr noch mit Isoliermasse umgossen, so daß die Masse nicht allein die ganze Oberfläche der Spule 1 bis 2 cm hoch bedeckt, sondern auch alle in der Spule etwa noch vorhandenen Lücken ausfüllt. Damit auch alle Luftblasen aus den Wicklungen herausgetrieben werden, erfolgt das Ausgießen zweckmäßig im Vakuum nach nochmaliger Erhitzung der Spule. Zu diesem Zweck bringt man die mit einem Mantel von Blech oder Pappe in einem Abstande von 1 bis 2 cm umgebene und mit einem dem Lochdurchmesser der Isolationsscheiben entsprechenden Pappezylinder als Kern versehene Spule unter einen Rezipienten, der oben einen Tubus hat Letzterer wird mit einem Gummipfropfen geschlossen, durch den ein Glasrohr mit Hahn gesteckt ist. Vom Glasrohr führt ein dickwandiger Gummischlauch in ein Gefäß mit geschmolzener und entlufteter Isolationsmasse. Der Rezipient wird nun von außen erwärmt und mittels einer Oel- oder Quecksilberluftpumpe luftleer gemacht. Ist die Spule gut durchwärmt, so öffnet man den Hahn und läßt die flüssige Isoliermasse in die Form treten, bis sie ganz damit gefüllt ist. Nach dem Erkalten entfernt man den Gußmantel sorgfältig und dreht die Wachsmasse der Spule auf einer Drehbank ab, so daß die Spule vollkommen zylindrisch wird.

Eine derartig hergestellte Sekundärspule bietet die größte Sicherheit; ein Durchbrechen der Isolation ist fast unmöglich.

Bei sehr großen Induktoren kann man außerdem noch die Vorsicht gebrauchen, die Isolationsschichten nach den Enden der Spule hin, wo die Spannungsdifferenz am größten ist, dicker zu machen. Zu diesem Zweck verfährt man beim Wickeln der Spulen in der Weise, daß man in die mittelsten Spulen kleine Ringe einlegt und die Spulen mit großem Durchmesser wickelt, hingegen zu den nach außen hin liegenden Spulen Ringe von größerem Durchmesser anwendet, den Spulen selbst aber kleinere Durchmesser gibt. Der Längsschnitt einer solchen Spule hat dann das in Figur 59 gezeichnete Aussehen.



Figur 59.

7. Das Hartgummirohr.

Die vollendete Sekundärspule wird jetzt auf ein Hartgummirohr geschoben, welches gleichzeitig zur Aufnahme der Primärspule dient Damit die Spannungen der sekundären Spule sich nicht durch die primären Windungen oder den Eisenkern ausgleichen können, ist nicht nur ein Rohr genügender Wandstärke, sondern auch mindestens von der doppelten Länge der sekundären Spule notwendig. Die Wandstärke des Rohres wird im allgemeinen nicht über 1 cm groß genommen; ein solches Rohr reicht für Funkeninduktoren bis 30 cm Schlagweite aus. Für größere Induktoren werden zwei, für die größten drei solcher genau ineinander passender Rohre, die äußeren kürzer als die inneren, verwendet. Das Rohr hat an beiden Seiten Gewindeansätze, auf welchen scheibenartige Muttern aus Hartgummi aufgeschraubt werden, welche die Spule von beiden Seiten einschließen. Mit diesen Muttern lagert die Spule auf einer passend ausgeschnittenen Unterlage.

Das Material, aus welchem diese Hartgummirohre angefertigt werden, ist ein ganz bestimmtes, jedenfalls sehr gut gereinigter und völlig eisenfreier Gummi. Um alle Luftblasen, die eine der hauptsächlichsten Ursachen des Durchschlagenwerdens dieser Isolierrohre bilden, im Material zu vermeiden, wird das Rohr nicht aus einer dicken Gummischicht, sondern durch Vielfachübereinanderwickeln einer dünn ausgewalzten Gummiplatte über einen Dorn hergestellt. Andere Materialien, wie Glas, Porzellan, Stabilit usw., haben sich nicht bewährt und können daher außer Betracht bleiben. Bei größeren Apparaten wendet man jedoch häufig außer dem Hartgummirohr Porzellanmanschetten an, die das Hartgummirohr an den Stellen, wo sich die äußersten Sektionen befinden, umgeben und die mit der sekundären Spule vergossen werden.

8. Die Primärspule.

Die Primärspule der größeren Funkeninduktoren wird nicht direkt auf den Eisenkern, sondern auf eine besondere ca. 1 mm starke Hülse von Papier oder dgl. gewickelt. Die Drahtdicke und die Anzahl der Lagen richtet sich nach der Betriebsstromstärke und der zu erzielenden sekundären Stromintensität. Je größer die Betriebsstromstärke, desto dicker muß natürlich der Draht sein, dessen Durchmesser von $1^1/_2$ bis 4 mm variiert. Bei Induktoren, die für Dauerbetrieb und Strombelastung bestimmt sind, wird man über 2 Ampère pro qmm Drahtquerschnitt nicht hinausgehen. Unter allen Umständen muß die Anzahl der Windungen so groß sein, daß bei der angewandten Betriebsstromstärke eine nahezu vollständige Sättigung des Eisenkerns (vergl. nächsten Abschnitt) eintritt, wobei auch die Stromschlußdauer des Unterbrechers gebührend zu berücksichtigen ist. Bei geringer Betriebsstromstärke und kurzer Stromschlußdauer werden viele Lagen eines Drahtes von geringerem Querschnitt, bei langer Stromschlußdauer (geringerer Unterbrechungszahl) weniger Windungen eines stärkeren Drahtes, und bei starkem Betriebsstrom und langer Stromschlußdauer nur wenige Windungen eines recht dicken Drahtes notwendig sein.

Um für alle möglichen vorkommenden Fälle die günstigsten Verhältnisse zu erreichen, kann man mehrere Primärspulen mit verschiedenen Drahtstärken herstellen und mit diesen nach Bedarf wechseln.

In neuerer Zeit stellt man die Spulen in der Weise her, daß man einen Draht mittlerer Dicke benutzt und davon 4 bis 6 Lagen anwendet; diese sind indessen nicht fortlaufend aus einem Stück, vielmehr jede Lage für sich einzeln gewickelt. Mittels einer Stöpsel-Vorrichtung können nun die einzelnen Lagen je nach Bedart alle hintereinander oder alle parallel, oder auch gruppenweise geschaltet werden. Es ist damit dasselbe erreicht, wie mit einer Anzahl auswechselbarer Spulen. Die Zweckmäßigkeit dieser Anordnung werden wir später noch bei Besprechung der Unterbrecher kennen lernen. Bei Anwendung mehrerer Lagen müssen dieselben von einander sorgfältig isoliert werden, weil sonst leicht die die Betriebsspannung bei weitem übertreffende Oeffnungsspannung die Drahtisolation durchbricht und so die primäre Wicklung kurzschließt.

Die Primärspule wird nun in das Hartgummirohr eingeschoben, welches mit Hartgummideckeln verschlossen wird. Die Stromzuführungsklemmen sind an einem dieser Deckel befestigt. Es ist darauf zu achten, daß die Sekundärspule genau symmetrisch zum Kern angeordnet wird, um einseitige Druck- oder Zuspannungen derselben zu vermeiden.

9. Der Eisenkern.

Ebenso wie bei den industriellen Transformatoren wird auch die Leistungsfähigkeit der Funkeninduktoren durch den Eisenkern wesentlich erhöht. Die hervorragende Rolle, die derselbe spielt, ergibt sich, wenn man ihn aus der Primärspule herauszieht: die Funkenlänge nimmt dann beträchtlich ab. Aber gegenüber den Transformatoren, bei denen das Eisen hauptsächlich infolge seiner Permeabilität wirkt, welche es gestattet, mehr Energie aus der Stromquelle aufzunehmen und umzusetzen, spielt bei den Induktoren die Hysteresis eine große Rolle, da die während des Stromschlusses im Magnetfeld aufgespeicherte Energie erst später im Moment der Unterbrechung wiedergegeben wird.



Figur 60.

Die in dem Magnetfeld aufgespeicherte elektromagnetische Energie ist durch den Ausdruck $\frac{L J^2}{2}$ gegeben.

Auf den ersten Blick könnte man daher glauben, daß die in der Sekundärwicklung erzielbare Leistung durch Erhöhung der Betriebsstromstärke beliebig gesteigert werden kann. Dies ist aber nicht der Fall.

Denn je höher die Magnetisierung des Eisenkerns eines gegebenen Induktors getrieben wird, um so mehr Kraftlinien treten von der Zylinderfläche, also relativ weit von der Stirnseite des Kerns, in den Raum aus

(vgl. das Eisenfeilichtbild Figur 60). Infolge dieser Verkürzung des im Eisen verlaufenden Kraftlinienweges, erhöht sich die Zahl der Streulinien, die an der Kupplung der primären und sekundären Wicklung nicht teilnehmen. Die Kupplung beider Wicklungen wird also loser und infolgedessen kann jetzt natürlich nur ein geringerer Teil der im Magnetfeld aufgespeicherten Energie im sekundären Stromkreis verbraucht werden als bei geringerer Magnetisierung, wo fast alle Kraftlinien stirnseitig austreten und so eine viel vollkommenere Kupplung beider Wicklungen erzielt wird.

Aber auch dieser geringere Teil wird noch viel kleiner ausfallen als man vielleicht erwarten sollte, weil nämlich die im Unterbrecher auftretenden Lichtbögen den Ausgleich fast der gesamten Feldenergie im Primärkreis einleiten. Wenn man also durch Steigerung der Betriebsstromstärke tatsächlich eine Steigerung der verfügbaren Feldenergie erzielen will, so muß auch gleichzeitig der Querschnitt des Eisenkerns vergrößert werden. Das Endergebnis ist also, daß die maximal Leistung eines Funkeninduktors, gleiche Unterbrechungszahl vorausgesetzt, von dem Querschnitt des Eisenkerns oder, was dasselbe ist, vom Eisengewicht des Induktors abhängig ist.

Im folgenden sei zunächst eine theoretische Betrachtung über das magnetische Verhalten des Eisens im allgemeinen gegeben.

Besteht die Primärspule aus n Windungen und ist J die Stromstärke in Ampère, so ist die magnetomotorische Kraft $F = \frac{4 \pi n J}{10} = 1{,}257\, n J$.

Diese magnetomotorische Kraft erzeugt in dem Eisenkern eine gewisse Anzahl Kraftlinien, die mit Φ bezeichnet sei. Ist

l die mittlere Länge derselben,
q der Querschnitt des Eisens in Quadratzentimetern,
μ dessen Magnetisierbarkeit (Permeabilität),

so ist der magnetische Widerstand (Reluctanz) $R = \frac{l}{\mu q}$.

Die Gesamtzahl der magnetischen Kraftlinien in der Richtung derselben ist demnach $\Phi = \frac{F}{R} = 1{,}257 \frac{n J \mu q}{l}$, somit gehen durch 1 qcm des Eisens vom Magnetquerschnitt (genannt magnetische Induktion) $B = \frac{\Phi}{q} = 1{,}257 \frac{n J \mu}{l}$ Kraftlinien hindurch, d. h. die Anzahl der durch jede Flächeneinheit des Querschnitts vom Elektromagneteisen gehenden Kraftlinien, oder was dasselbe ist, die Stärke dieses Elektromagneten wird um so größer sein, je größer die magnetisierende Kraft $(H) = \frac{1{,}257\, n J}{l}$ oder die Zahl der Ampèrewindungen pro Zentimeter ist.

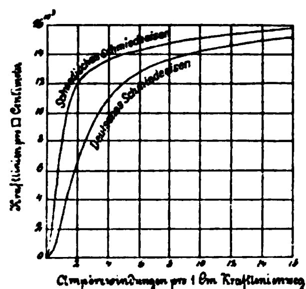
Mißt man die Magnetisierung, welche durch verschiedene magnetisierende Kräfte erzeugt wird, so wird man finden, daß dieselbe nicht proportional mit der magnetisierenden Kraft oder den Ampèrewindungen ist, sondern daß sie anfänglich rasch, dann immer langsamer zunimmt, um sich schließlich asymtotisch einem gewissen Grenzwert zu nähern, der je nach der Beschaffenheit der verwendeten Eisensorte höher oder tiefer liegt. Die Permeabilität μ ist also nicht konstant, sondern eine Funktion der Magnetisierung selbst, wie aus folgender Tabelle hervorgeht:

Tabelle der Magnetisierung für ausgeglühtes Schmiedeeisen.

$H =$	1,66	4	5	6,5	8,5	12	17	28,5	52	105	200	350
$B =$	5000	9000	10000	11000	12000	13000	14000	15000	16000	17000	18000	19000
$\mu =$	3000	2250	2000	1692	1412	1083	823	526	308	161	90	54

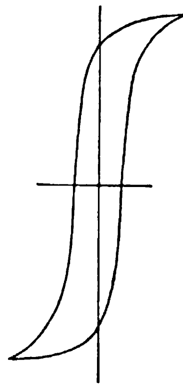
Deutlicher geht dies noch aus der graphischen Darstellung der Magnetisierungskurven (Figur 61) hervor, welche für deutsches und schwedisches Eisen gelten. Die Kurve steigt zunächst steil an, macht dann plötzlich einen scharfen Bogen (Knie) und läuft dann annähernd horizontal.

Wenn man ein Stück Eisen verschiedene Mal einer gleich großen magnetisierenden Kraft aussetzt, so wird doch die Anzahl der erzeugten Kraftlinien oder die magnetische Induktion verschieden groß ausfallen, je nachdem das Eisen sich schon in einem mehr oder weniger starken magnetischen Zustande befunden hatte. Bekannt ist z. B. die Eigenschaft des gehärteten Stahls, welcher seinen Magnetismus auch nach dem Erlöschen der magnetisierenden Kraft beibehält und somit durch spätere magnetisierende Kräfte entweder gar nicht oder nur unbedeutend verändert wird. Auch das weiche Eisen, welches durch die geringsten magnetisierenden Kräfte fast momentan beeinflußt wird, zeigt in seinem Verhalten die erwähnte, trägheitartige Eigenschaft, welche man als „Hysteresis“ bezeichnet. Unterwirft man z. B. ein Stück weiches Eisen einem magnetischen Kreisprozeß, indem man die magnetisierende Kraft von einem gewissen Wert bis zu einem Maximum anwachsen, dann allmählich wieder abnehmen läßt, bis sie auf Null kommt, dann dieselbe darüber hinaus bis zu einem gleich großen negativen Wert steigert, um sie dann allmählich wieder auf den Anfangswert zurückkehren zu lassen, und mißt man die Anzahl der erzeugten Kraftlinien (Größe der magnetischen Induktion B) für verschiedene



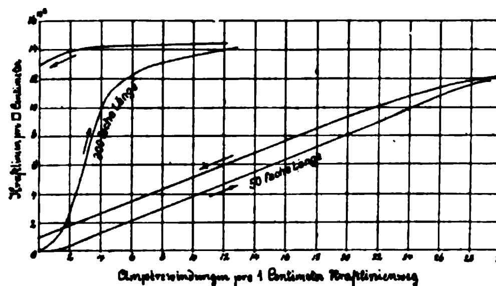
Figur 61.

Werte der magnetisierenden Kraft (H) oder für verschiedene Ampère-windungen, so erhält man zwei Magnetisierungskurven, die sich nicht decken (vergl. Figur 62).


Figur 62.

Die von diesen beiden Kurvenzweigen eingeschlossene Fläche stellt die Arbeit dar, welche bei der Ummagnetisierung geleistet und in Wärme umgesetzt wird. Denjenigen Teil der magnetischen Induktion, oder diejenige Anzahl von Kraftlinien pro Quadratzentimeter, die noch im Eisen zurückbleibt, wenn die magnetisierende Kraft gleich Null ist, nennt man remanenten Magnetismus. Weiches Eisen besitzt die kleinste Hysteresis, also auch den kleinsten remanenten Magnetismus.

Aber auch bei ein und derselben Eisensorte variiert die Hysteresis. Dieselbe ist am kleinsten, wenn die Länge der Eisenmassen in der Kraftlinienrichtung möglichst reduziert wird, so daß die entmagnetisierende Kraft der Pole möglichst groß und der Teil des Kraftlinienweges, welcher innerhalb des Eisens verläuft, möglichst klein ist im Verhältnis zur ganzen Länge desselben. Lange Eisenstäbe haben also eine größere Hysteresis als kurze, bei denen die Kurvenzweige mehr zusammenfallen als bei ersteren. In Figur 63 sind die Verhältnisse für einen dünnen Eisenstab dargestellt, der in dem einen Falle 300 mal, im anderen Falle 50 mal so lang als sein Durchmesser ist. Der Unterschied zeigt sich hauptsächlich in der Größe des remanenten Magnetismus, der beim kurzen Stabe 6 %, beim langen Stabe dagegen 85 % vom Totalmagnetismus beträgt.



Figur 63.

Diese Eigenschaften des Eisens sind für die Herstellung des Induktorkerns von der größten Bedeutung. Soll die durch den primären Strom hervorgebrachte Magnetisierung der primären Stromstärke immer genau proportional sein und plötzlich möglichst steil abfallen, um in der sekundären Wicklung hohe Spannungen zu induzieren, so muß die Hysteresis möglichst klein sein; es dürfen also keine geschlossenen Eisenringe oder lange dünne Stäbe als Kerne verwendet werden, sondern verhältnismäßig kurze, offene Zylinder. Sowohl die Praxis als auch die Theorie (Lord Rayleigh) ergibt, daß die während der Magnetisierung im magnetischen Feld aufgespeicherte

und daher später verfügbare Energie für ganz bestimmte Verhältnisse des Kerns (Länge zu Durchmesser) ein Maximum wird.

Zweckmäßigerweise wird man nicht über den 10 bis 20 fachen Durchmesser als Länge hinausgehen, wobei die Länge im allgemeinen doppelt so groß sein muß, als die sekundäre Spule beziehungsweise die Funkenlänge des Induktors, um eine möglichst enge Kupplung beider Spulen zu erzielen, d. h. alle Kraftlinien der Primärspule auszunutzen und ein Schneiden der außerhalb des Eisens zurückverlaufenden Kraftlinien im umgekehrten Sinne zu verhüten. Außerdem ist das weichste Eisen für diese Zwecke am geeignetsten; vorzügliche Resultate gibt schwedisches Borgwikeisen, das sehr rein und so weich ist, daß man es mit dem Messer schneiden kann. Noch besser dürfte das neuerdings von den Langbein-Pfannhauser Werken hergestellte elektrolytische Eisen sein, daß sich bis jetzt allerdings noch schlecht für Kerne verarbeiten läßt. Daß man zur Verhütung der Wirbelströme (Foucaultströme), die die magnetisierende Kraft schwächen, keinen massiven Eisenkern anwenden darf, vielmehr denselben aus Drahtstäben oder Blechstreifen zusammensetzt, ist bereits bei den Induktionsapparaten (vergl. S. 5) gesagt worden; ebenso, daß die Drähte alle gut geglüht und gerade gerichtet sein müssen. Vor dem Zusammensetzen werden sie einzeln mit Schellack-Lack gestrichen, um ihre metallische Berührung zu verhüten (vergl. S. 15). Man darf die Drähte aber auch nicht zu dünn wählen, weil sonst die magnetische Sättigung des Kerns zu gering ist. Im allgemeinen verwendet man bei den größeren Apparaten 1 bis 2 mm dicke, gerade gerichtete, geglühte und in Oel oder heißer Asche langsam abgekühlte Eisendrähte, die man in Bündel von 3 bis 10 cm Durchmesser zusammenfaßt. Die primäre Wicklung wird so eingerichtet, daß der Kern bis zum Knie der Magnetisierungskurve, d. h. also etwa 10 000 Kraftlinien pro Quadratzentimeter, magnetisiert wird. Auf die Nachteile, die eine stärkere Magnetisierung mit sich bringt, ist bereits zu Anfang dieses Abschnittes hingewiesen worden.

10. Der Kondensator.

Ueber die Herstellungsweise eines Kondensators ist bereits auf S. 28 bis 30 bei den kleinen Funkeninduktoren so ausführlich geschrieben worden, daß hier auf dieselbe nicht noch einmal eingegangen zu werden braucht. Auch seine Unterbringung ist die gleiche. Sehr zweckmäßig ist es, die Kondensatoren aus mehreren übereinander liegenden Teilen herzustellen, um die wirksame Kapazität durch einen Kurbelschalter, der über einzelne Kontaktstifte streift, variieren zu können. Bei höherer Unterbrechungszahl muß die Kapazität des Kondensators

im allgemeinen verkleinert, bei höherer Betriebsstromstärke muß sie vergrößert werden.

Bei den großen Funkeninduktoren ist es nötig, die Kondensatoren ähnlich wie die Sekundärspulen im Vakuum mit Isoliermasse zu umgießen. Bei Anwendung der Flüssigkeitsunterbrecher sind keine Kondensatoren erforderlich; daher stellt sich ein Funkeninduktor, der speziell für Flüssigkeitsunterbrecher-Betrieb bestimmt ist, durch den Fortfall des Kondensators wesentlich billiger.

Erwähnt mag hier noch sein, daß man in Amerika vielfach überhaupt keine Kondensatoren an den Funkeninduktoren verwendet. Es werden dann mechanische oder magnetische Gebläse zum Löschen der Funken an den Platin- oder Quecksilberunterbrechern benutzt.

II. Ausstattung.

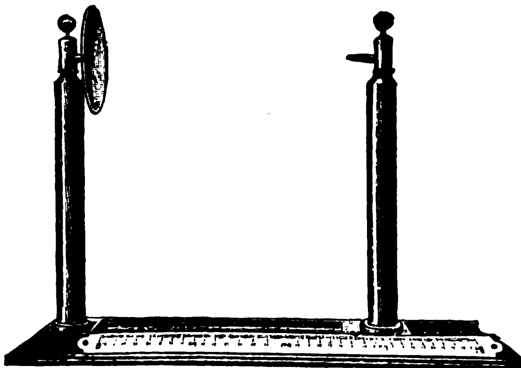
Die Drahtenden der umgossenen sekundären Spule werden an etwas stärkere Drähte angelötet, und diese mit den in den Holzabschlußscheiben oder mit den die sekundäre Spule begrenzenden Hartgummimuttern eingelassenen messingnen Polstücke verbunden.

Die sekundäre Spule erhält darauf einen Mantel von dünnem Hartgummi, der mit korrespondierenden Löchern versehen ist und mittels einer durch diese Löcher gezogenen Schnur zusammengehalten wird. Während bei den kleineren Funkeninduktoren die Polstücke in der Art ausgebildet sind, daß sie zwei mit Hartgummi umkleidete, herausnehmbare Polsäulen aufnehmen, die die Entlader tragen, bestehen dieselben bei größeren Induktoren aus Kugelklemmen, die mit besonderen Entladerständern durch biegsame Kabel verbunden werden. Die Entlader bestehen aus zwei Metallstäben, von denen der eine in eine Spitze ausläuft, während der andere eine runde Messingscheibe trägt. Der Grund dieser verschiedenen Ausbildung liegt in der Polarität des Induktors Bei der normalen Stellung des Stromwenders der primären Spule gehen die Funken von der Spitze als positiver Pol (Anode) zur Mitte der negativen Platte und man erzielt große Schlagweite. Springen die Funken bei kleinerer Schlagweite von der Spitze nach dem Rand der Scheibe, so befindet sich der Stromwender in der falschen Stellung. Bei dem auf dem Induktor selbst angebrachten Entlader kann die Funkenlänge durch Verschieben der Spitze variiert und die Schlagweite an einer an der Stange angebrachten Zentimetereinteilung abgelesen werden. Bei den horizontalen Funkenständern (Figur 64 und 65) wendet man meist eine Schlittenvorrichtung mit Skala an. An Stelle der horizontalen Anordnung kann aber auch eine vertikale gewählt werden (vergl. Figur 66). Ueber die angegebene

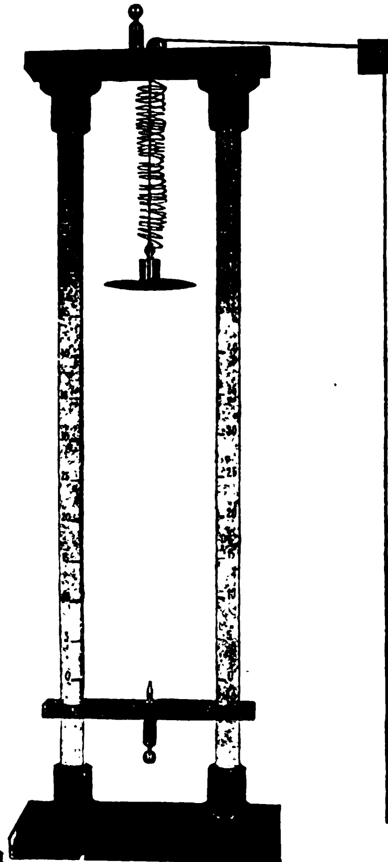
maximale Funkenlänge hinaus darf man einen Funkeninduktor wegen der Gefahr, daß die Isolation durchschlagen wird, nicht beanspruchen.



Figur 64.



Figur 65.



Figur 66.

Die fertig armierte Sekundärspule wird entweder mit den die Spule begrenzenden Endbrettern oder besser mit den auf der Hartgummiröhre aufgeschraubten Endmuttern mit Hilfe zweier Auflageböcke auf ein Grundbrett montiert, welches erforderlichen Falles mit dem Kasten für den Kondensator vereinigt werden kann. Auf dem Grundbrett werden zwei Anschlußklemmen, ein Ausschalter und der Stromwender befestigt. Zweckmäßig ist die Anbringung einer Schmelzsicherung, um die Primärspule vor Ueberlastung zu schützen. Diese Teile können fortbleiben, wenn dieselben mit dem Unterbrecher zusammen zu einem Apparat vereinigt sind; an dem Induktor bleiben dann nur die Zuführungsklemmen für die

Primärwicklung und die beiden Klemmen zum Kondensator. Ueber die Schaltungen wird im 10. Kapitel berichtet werden.

12. Störungen bei Funkeninduktoren.

Sollte ein größerer Funkeninduktor schlechte Resultate geben, so verfahre man folgendermaßen. Man kontrolliere zunächst die Stromquelle und den Unterbrecher; sind diese in Ordnung, so untersuche man den Induktor in folgender Reihenfolge:

1. Kontaktdefekt einer Verbindung.
2. Kondensatordefekt.
3. Defekt der Isolation der Primärspule, so daß eine kleinere oder größere Anzahl von Windungen kurz geschlossen sind.
4. Falscher Aufbau der Sekundärspule.
5. Defekt der Isolation der Sekundärspule.
6. Defekt der Isolation zwischen Primärspule und Sekundärspule.
7. Unterbrechung der Sekundärleitung; man bestimmt die Fehlerstelle durch Kapazitätmessung und wechselt die schadhafte Spule gegen eine neue aus.
8. Kurzschluß eines Teils der Sekundärwicklung infolge mangelhafter Isolation. Die kurzgeschlossenen Spulen, die sich übermäßig erhitzen, so daß die Wachsmasse schmilzt, sind auszuwechseln.

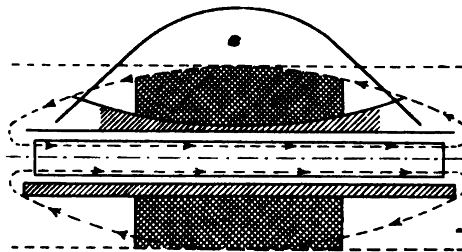
13. Nochmalige kurze Zusammenfassung der wichtigsten bisherigen Ergebnisse betreffend die Dimensionierung von Funkeninduktoren. Theoretischer und praktischer Aufbau.

Fassen wir die wichtigsten bisherigen Ableitungen über die zweckmäßigste Dimensionierung großer Funkeninduktoren nochmals kurz zusammen, so ergibt sich folgendes:

Um eine möglichst enge Kupplung zwischen primärer und sekundärer Wicklung und damit einen möglichst hohen Nutzeffekt zu erzielen, muß zunächst die Länge des Eisenkerns etwa doppelt so groß gewählt werden, als die Schlagweite des Induktors. Der Durchmesser des Kerns beträgt etwa den 10. bis 20. Teil seiner Länge. Für Apparate größerer Leistung wird man den Durchmesser innerhalb dieses Spielraumes vergrößern. Die Wicklung der Primärspule ist in Abschnitt 8 ausführlich behandelt worden, so daß hier ein Hinweis auf denselben genügen wird.

Aus den Dimensionen der primären Wicklung ergeben sich die Abmessungen des Hartgummirohres von selbst. Bezüglich der Wandstärke des letzteren kann auf das im Abschnitt 7 Gesagte verwiesen werden. Die Länge der sekundären Spule ist durch die Schlagweite des Induktors bestimmt. Ihr äußerer Durchmesser soll höchstens die Hälfte der Spulenlänge betragen; doch wird man bei größeren Apparaten mit bedeutend geringerem Durchmesser

auskommen. Macht man den Durchmesser zu groß, so schneidet ein Teil der Streu-Kraftlinien die sekundäre Wicklung im verkehrten Sinne, so daß anstatt einer Erhöhung eine Schwächung der Wirkung eintritt. Ein solches Schneiden im falschen Sinne darf natürlich nicht eintreten, vielmehr müssen alle, die sekundäre Wicklung schneidenden, Kraftlinien innerhalb des Eisenkerns, die Streulinien aber außerhalb der sekundären Spule verlaufen, wie dies auch der obere Teil der schematischen Figur 67 darstellt, welcher einen Funkeninduktor im Schnitt zeigt, wie derselbe nach den strengen Forderungen der Theorie aufgebaut werden müßte. Die punktierten, mit Pfeilen versehenen Linien stellen dabei den Verlauf der Kraftlinien dar, die ausgezogene Kurve den Grad der Kupplung zwischen primärer und sekundärer Wicklung für die Eisenkernlänge als Abszisse.



Figur 67.

Im unteren Teile sind die Verhältnisse dargestellt, wie man sie in der Praxis wählt, um die Konstruktion, z. B. durch Anwendung eines Hartgummirohres mit nach seinen Enden zunehmender Wandstärke, nicht unnütz zu komplizieren. Ueber die Möglichkeit der Ausführung der „Tonnenwicklung“ ist bereits auf Seite 47 oben berichtet worden.

14. Dimensionen ausgeführter Funkeninduktoren.

In nachstehender Tabelle sind die Hauptmaße einiger ausgeführter Funkeninduktoren aufgeführt, die einen Anhalt für die Anfertigung solcher Apparate geben. Alle Maße sind in Millimetern angegeben.

Schlagweite	80	100	150	200	250	300	350	500
Durchmesser des Eisenkerns	15	20	25	30	35	40	45	55
Länge des Eisenkerns	150	200	275	375	475	575	650	950
Durchmesser der einzelnen Eisendrähte	1	1,1	1,2	1,2	1,5	1,5	1,8	2,0
Durchmesser des blanken Primärdrahtes	1	1,2	1,5	1,5	2	2	2,5	3
Durchmesser des Hartgummirohres außen	32	42	53	62	71	80	89	109
Wandstärke des Hartgummirohres	4	6	8	9	10	11	12	15
Innerer Durchmesser der Sekundärspule	36	48	61	71	81	91	101	123
Aeußerer Durchmesser der Sekundärspule	71	89	111	135	150	175	206	290
Anzahl der Sektionen	15	20	34	50	63	82	100	143
Dicke der einzelnen Sektionen	4	3,5	3	3	2,5	2,5	2	2
Durchmesser des Sekundärdrahtes (blank)	0,1	0,1	0,1	0,12	0,12	0,15	0,15	0,15
Kondensator-Blattzahl	60	70	80	90	100	110	120	140
Größe des Staniols	60 ×120	70 ×140	90 ×180	100 ×200	110 ×220	125 250	150 ×300	200 ×400

15. Drahttabelle.

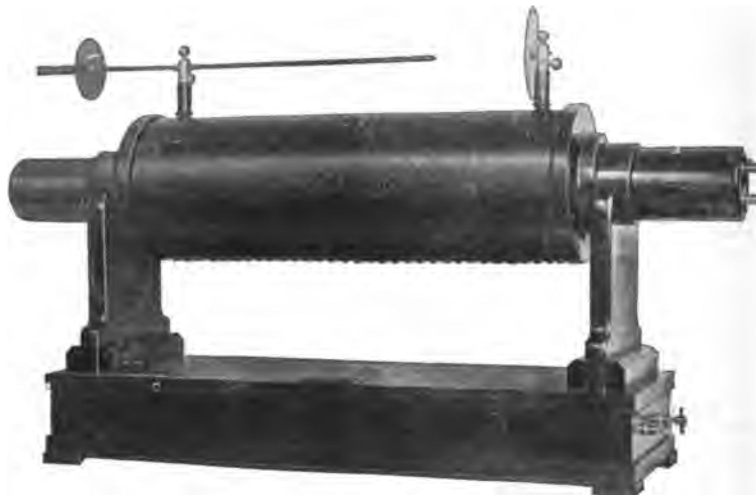
Für die zur sekundären Spule zu verwendenden Drähte dienen folgende Angaben.

Durchm des blanken Drahtes	Quer-schnitt inqmm	Baumwolle einfach Durchm mit Bespinnung in mm	Baumwolle einfach Länge pro kg in m	Baumwolle doppelt Durchm. mit Bespinnung in mm	Baumwolle doppelt Länge pro kg in m	Seide einfach Durchm. mit Bespinnung in mm	Seide einfach Länge pro kg in m	Seide doppelt Durchm. mit Bespinnung in mm	Seide doppelt Länge pro kg in m	Widerstand pro m in Ohm
0,07	0,004	—	—	—	—	0,12	22 000	0,16	17 000	4,32
0,08	0,005	—	—	—	—	0,13	18 500	0,17	15 000	3,45
0,10	0,008	0,20	10 870	—	—	0,15	11 765	0,19	10 000	2.16
0,12	0,011	0,22	7 800	—	—	0,17	8 700	0,21	7 000	1,57
0,15	0,018	0,25	5 300	0,30	4100	0,20	5 620	0,24	5 075	0,96
0,18	0,025	0,28	3 750	0,36	3025	0,23	4 050	0,27	3 780	0,69
0,20	0,031	0,30	3 125	0,40	2675	0,25	3 270	0,29	3 040	0,54
0,22	0.038	0,32	2 610	0,42	2300	0,27	2 750	0,31	2 600	0,46
0,25	0,049	0,35	2 060	0.45	1825	0,30	2 130	0,34	2 015	0,35
0,30	0,071	0,42	1 460	0,50	1325	0,35	1 500	0,39	1 430	0,24

16. Ausgeführte Apparate.

In folgendem sind noch spezielle Angaben über einige neuere Funkeninduktoren von renommierten Firmen enthalten:

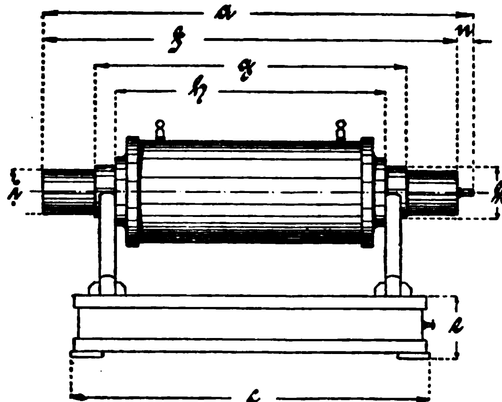
1. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. Die Induktoren haben die typische deutsche Form (Figur 68), die durch das



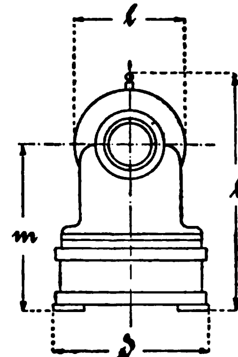
Figur 68.

über die Sekundärspule hinausragende Hartgummirohr gekennzeichnet ist. Bei den kleineren Apparaten ist der aus Spezial-Dynamoblechen in La-

mellenlagerung hergestellte Eisenkern zur Befestigung des später zu beschreibenden Hammer- oder Quecksilber-Unterbrechers verlängert; die größeren Typen werden ohne diese Ansatzstücke gebaut, weil Platin-



Figur 69.



Figur 70.

Unterbrecher dabei nicht in Betracht kommen. Die Figuren 69 und 70 und die folgende Tabelle enthalten die Hauptabmessungen der Apparate dieser Firma:

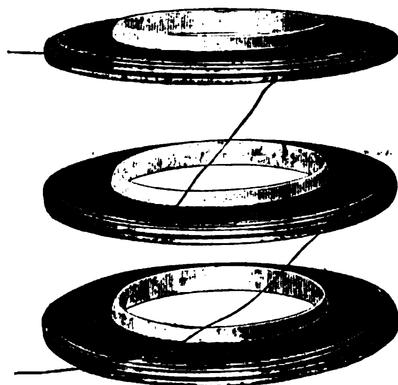
Funkenlänge in cm	Maße in mm												
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n
10	370	365	380	240	130	340	—	260	60	56	140	245	30
15	530	400	470	250	120	500	—	350	74	70	164	270	30
18	530	400	470	250	120	500	—	350	74	70	164	270	30
20	630	410	500	265	120	600	—	370	82	78	175	270	30
25	730	465	560	275	120	700	500	450	92	78	188	320	30
30	830	475	680	290	120	800	600	520	102	88	205	320	30
40	1080	550	800	300	130	1050	800	640	112	98	222	390	30
50	1180	580	915	315	135	1150	850	750	119	103	230	415	30
60	1430	630	980	315	140	1400	1050	840	135	114	262	450	30
70	1530	685	1190	350	140	1500	1100	980	149	124	290	490	30

In folgender Tabelle sind Angaben über die Mindestspannung für die Induktoren enthalten, um mit einem Quecksilber-Unterbrecher, der 18 mal in der Sekunde unterbricht und dessen Stromöffnungsdauer gleich der Stromschlußdauer ist, die maximale Funkenlänge zu erhalten. Die mittlere Stromstärke im Primärkreise beträgt dabei etwa 3 Ampère. Bei höheren Unterbrechungszahlen wird man eine um mindestens 20 % höhere Betriebsspannung verwenden müssen.

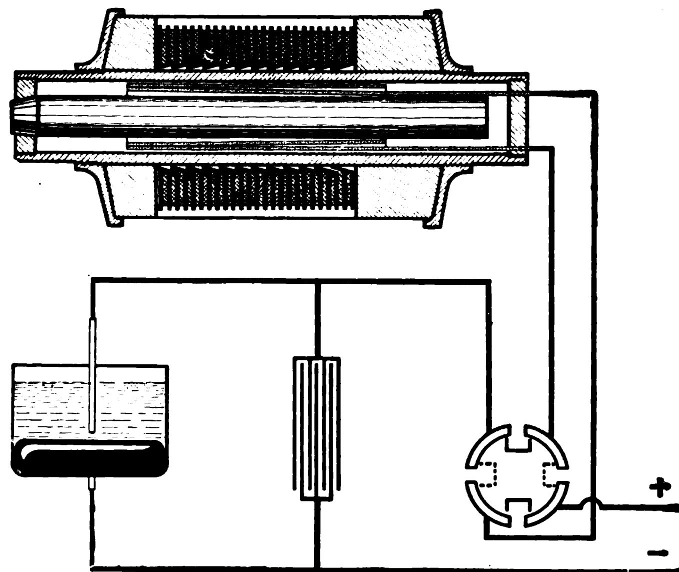
Induktor-Type	Funkenlänge in cm	Mindest-geringste in Volt	Erforderliche geringste Zellenzahl der Akk.-Batterie	Für Roentgenzwecke geeignete	
				Mindest-spannung	Zellenzahl
15	18	12	6	16	8
20	23	14	7	16	8
25	28	16	8	20	10
30	33	20	10	24	12
40	43	24	12	28	14
50	54	28	14	32	16
60	65	32	16	40	20
70	75	40	20	48	24

Für besondere Zwecke, z. B. bei wissenschaftlichen Arbeiten im Laboratorium zur Wechselstrom-Transformation, ergeben diese Induktoren bei einem ungefähren Nutzeffekt von 80 % die in folgender Tabelle angegebenen Transformations-Koeffizienten. Bei kurzen Versuchen kann bis zu einer sekundären Effektivstromstärke von 0,1 Ampère gegangen werden, bei längerer Versuchsdauer soll dieselbe 0,05 Ampère nicht übersteigen.

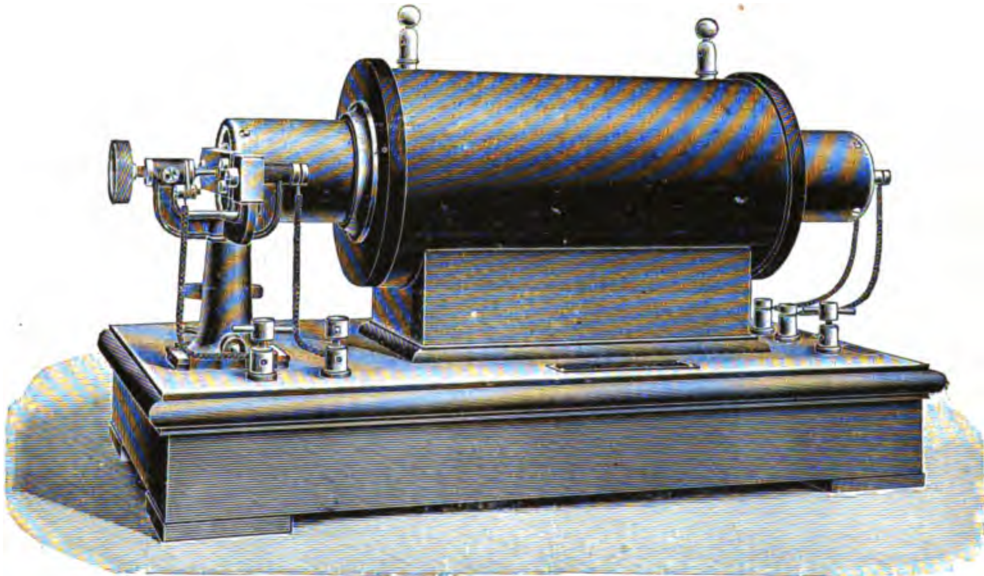
Indukt.-Type Funkenlänge in cm	Trans-formations-Koeffizient	Effektiv-spannung primär	Effektiv-spannung sekundär	Stromstärke primär	Leistung Kilo Volt Amp. × cos φ
15	160	65	10 000	10	0,5
20	180	75	14 000	12	0,7
25	210	85	18 000	14	0.9
30	240	100	24 000	18	1,2
40	300	120	36 000	26	1,8
50	350	150	52 000	26	2,6
60	420	180	76 000	30	3,8
70	500	220	110 000	50	5,5


Figur 71.

2. Hans Boas, Berlin, verwendet zum Aufbau der sekundären Spule seiner Induktoren Wickelelemente (Doppelsektionen) der in Figur 71 abgebildeten Form. Den inneren Aufbau eines aus derartigen Wickelelementen zusammengesetzten Induktors läßt Figur 72 erkennen. Die Isolationsmasse der Sekundärspule besteht aus einer festen Kopallösung, die sich durch hohen Isolationswiderstand, durch große mechanische Festigkeit und hohen Schmelz-

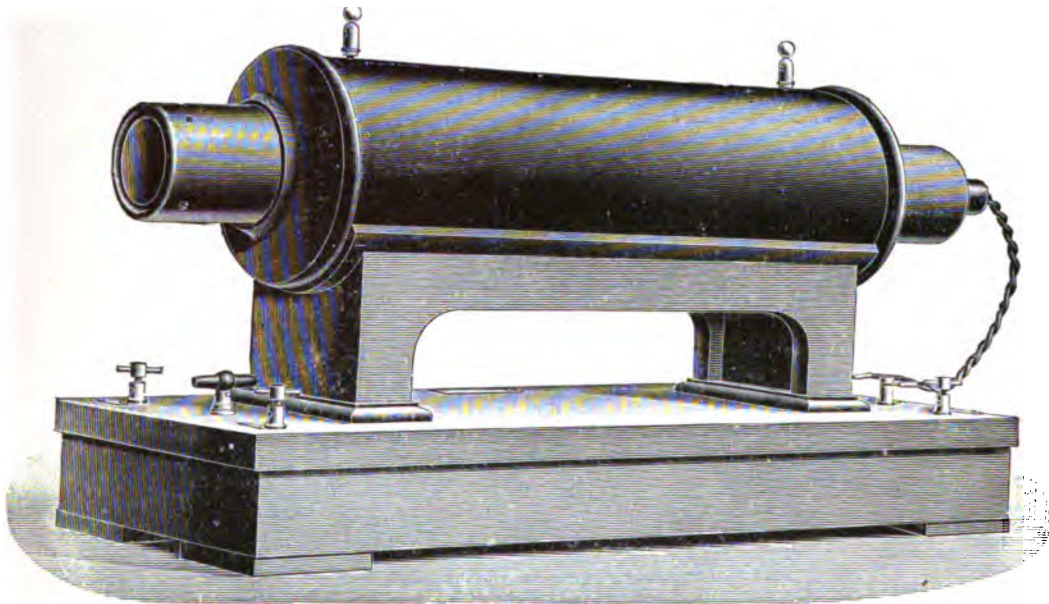


Figur 72.



Figur 73.

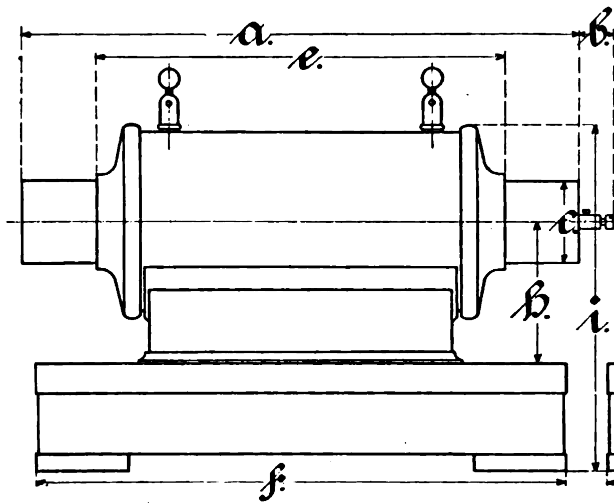
punkt auszeichnet. Sie ist infolgedessen auch für den Gebrauch der Apparate in den Tropen geeignet. Die Masse bildet sich mit der Zeit zu einem unlöslichen Körper um. Figur 73 und 74 zeigen zwei derartig hergestellte Induktoren dieser Firma, die äußerlich durch die Lagerung



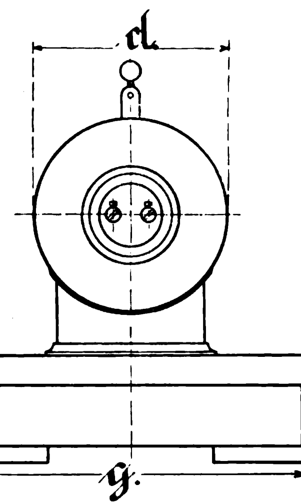
Figur 74.

der sekundären Spule auf ihrer ganzen Länge gekennzeichnet sind. Außer dieser Type für Roentgenzwecke mit schwächerer Sekundärwicklung und höchster Funkenleistung, die die Sollfunkenlänge um viele Prozent überschreitet, wird auch eine zweite Type mit stärkerer Sekundärwicklung hergestellt, die eine Art Universalinduktor darstellt. Die Hauptabmessungen enthalten Figuren 75 und 76 und folgende Tabelle:

Funkenlänge in cm	Maße in mm								
	a	b	c	d	e	f	g	h	i
10	325	25	58	136	327	450	270	100	275
18	450	25	68	158	330	516	281	116	306
20	520	25	76	168	350	570	320	134	328
25	620	25	86	184	430	660	350	144	334
30	720	25	89	195	496	760	350	168	344
40	900	25	100	212	645	800	350	200	420
50	1000	25	107	224	736	935	350	210	460
60	1200	25	125	244	850	1150	350	230	480
70	1400	25	140	264	978	1040	350	260	510

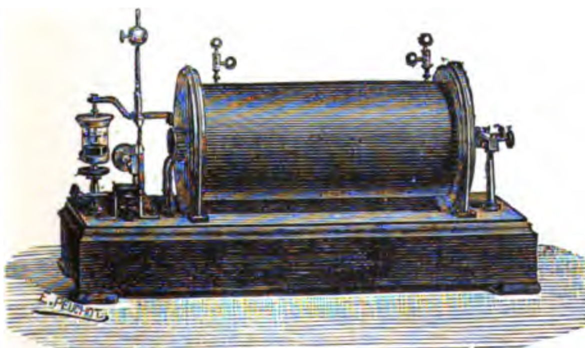


Figur 75.



Figur 76.

3. J. Carpentier (Ateliers Ruhmkorff) in Paris fertigt Funkeninduktoren (vgl. Figur 77 und 78), die mit den meisten Induktoren fran-

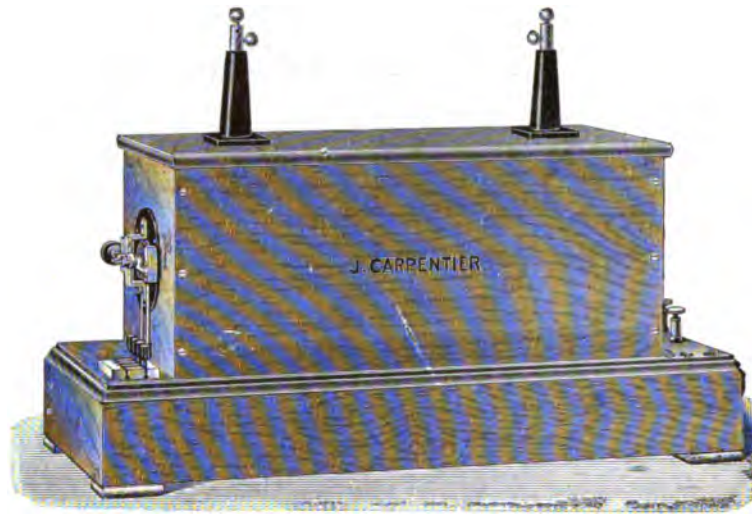


Figur 77.



Figur 79.

zösischen oder englischen Ursprungs die Eigentümlichkeit gemeinsam haben, daß das Hartgummirohr wenig oder gar nicht aus der Umkleidung hervorragt. Die aus poliertem Mahagoniholz bestehende Umhüllung der größeren

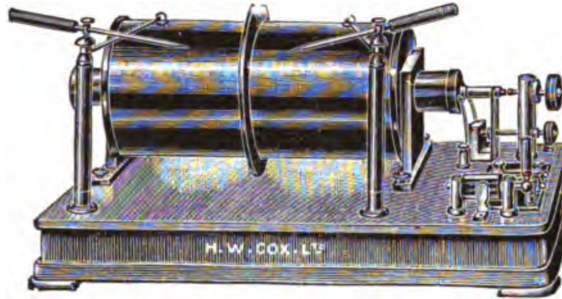


Figur 78.

Apparate ist polygonartig. Figur 79 zeigt eine stehende Type. Folgende Tabelle enthält Angaben über Wicklungsverhältnisse, Widerstand, Selbstinduktion und gegenseitige Induktion der Carpentierschen Induktoren.

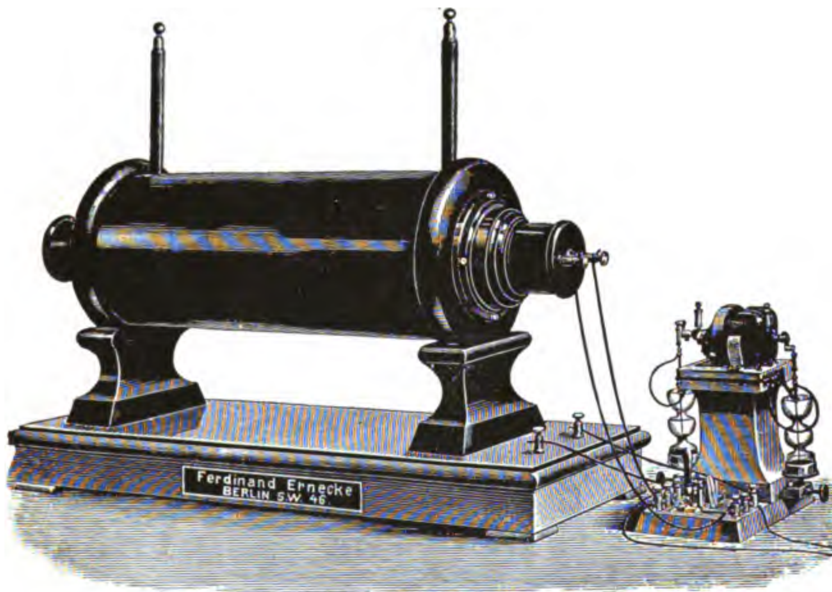
Induktor-Type (Funkenlänge) in cm	Windungszahl		Widerstand sekundär in Ohm	Selbst-induktion primär in Henry	Gegen-seitige Induktion in Henry
	primär	sekundär			
15	194	21 000	4 000	0,0075	0,8
20	210	33 000	8 500	0,011	1,7
25	270	44 000	12 000	0,015	2,5
30	300	55 000	13 000	0,020	3,6
35	340	46 000	16 000	0,025	3,4
40	380	60 000	20 000	0,030	4,5
45	400	65 000	22 000	0,035	6,9
50	400	72 000	34 000	0,056	10
55	500	72 000	34 000	0,070	10
60	500	72 000	40 000	0,100	14,4

4. H. W. Cox in London liefert Induktoren, bei denen das Hartgummirohr ebenfalls nur wenig aus der Umkleidung hervorsteht und in besonderen Brettern seine Auflage findet (Figur 80).



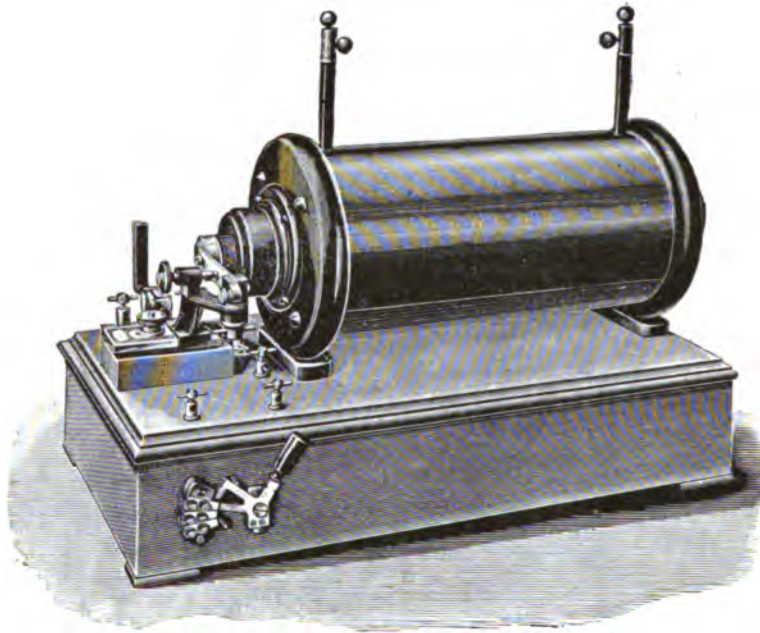
Figur 80.

5. Ferdinand Ernecke in Tempelhof-Berlin fabriziert Funkeninduktoren der typischen deutschen Form (Figur 81).



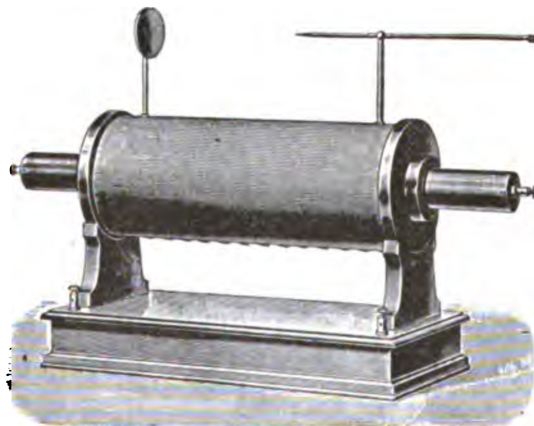
Figur 81.

6. Keiser & Schmidt in Berlin wenden ähnlich wie Carpentier und Cox einen längeren Umguß der sekundären Spule an, so daß, wie Figur 82 zeigt, das Hartgummirohr nur wenig herausragt.



Figur 82.

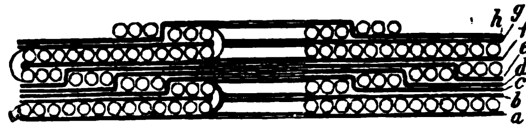
7. Fr. Klingelfuß & Co. in Basel. Das typisch deutsche Aeußere weisen wieder die von dieser Firma hergestellten Funkeninduktoren (Figur 83) auf. Charakteristisch für diese ist die eigentümliche staffelförmige Wicklung



Figur 83.

der Sekundärspule zwischen gepreßten Isolationsscheiben; Figur 84 zeigt einen Querschnitt durch vier aufeinanderfolgende Sektionen. Auf die unterste

Isolierscheibe *a* werden die Windungen der ersten Lage mittels einer besonderen Maschine von außen nach innen in einer Ebene spiralig aufgeklebt. Auf die Windungen der ersten Lage kommt eine weitere Isolationsscheibe *b*

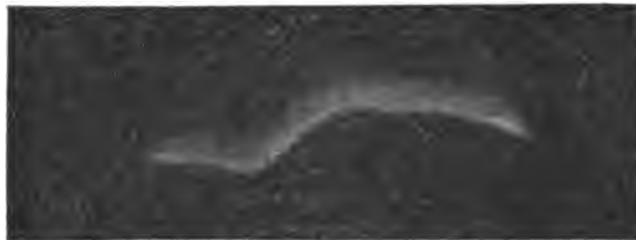


Figur 84.

auf welche zunächst die innersten Windungen der zweiten Lage direkt aufgewickelt werden. Die zweite Lage wird aber in ihrem ferneren Verlauf durch mehrere eigentümlich geformte Isolationsscheiben *c, d, e* unterbrochen, derart, daß die Teile mit höherer Potentialdifferenz weiter voneinander abstehen und durch die Dicke mehrerer Isolationsscheiben getrennt sind, wie aus der Figur deutlich zu ersehen ist.

Auf den letzten Teil der zweiten Lage und die Scheibe *e* folgt nun wieder eine flache Isolationsscheibe *f*, auf die die dritte Windungslage nun wieder von außen nach innen gewickelt ist. Die Windungen dieser Lage entfernen sich mit zunehmender Drahtlänge von den einzelnen Windungsteilen der zweiten Lage in entsprechender Weise, wie sich die letztere von der ersten Lage entfernt. Nun setzt sich die Wicklung in genau gleicher Weise wie bei der zweiten Lage fort usw.

Die ganze Spule kann so unter vollkommenster Ausnutzung des Wicklungsraumes aus einem fortlaufenden Draht ohne Lötstellen gewickelt werden, wodurch die beträchtlichen Verluste durch Ausstrahlung an den Verbindungsstellen der scheibenförmig aufgebauten Spulen ganz fortfallen. Außer dieser Konstruktion stellt die Firma noch Induktoren mit besonders



Figur 85.

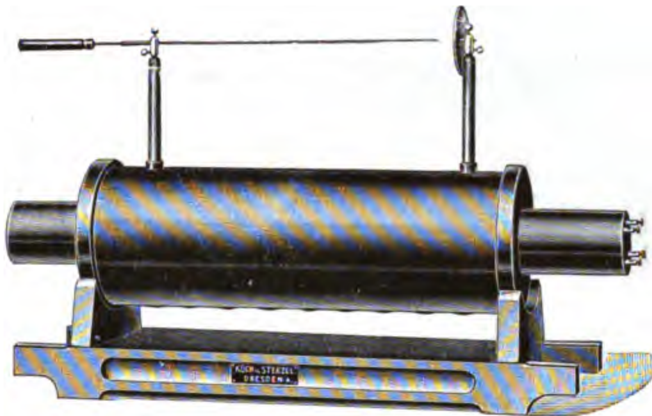
starkem Eisenkern her, die bei gleicher Funkenlänge besonders dicke Funken erzeugen, die von einer außerordentlichen breiten bis flammenartigen Aureole umgeben sind. Figur 85 zeigt einen Einzelfunken dieser Art, Figur 86 die



Figur 86.

Flammenentladung zwischen den sekundären Klemmen. Auf die Klingelfußschen Induktoren wird später, anläßlich der Untersuchungen an der Hand ihrer Bestimmungsstücke und der von Klingelfuß aufgestellten Theorie näher eingegangen werden.

8. Koch & Sterzel, Dresden-A., stellen neben den normalen Induktoren (Figur 87) als Spezialität sogenannte Intensitätsinduktoren für Roentgenzwecke her, die sich durch einen besonders dicken Eisenkern auszeichnen



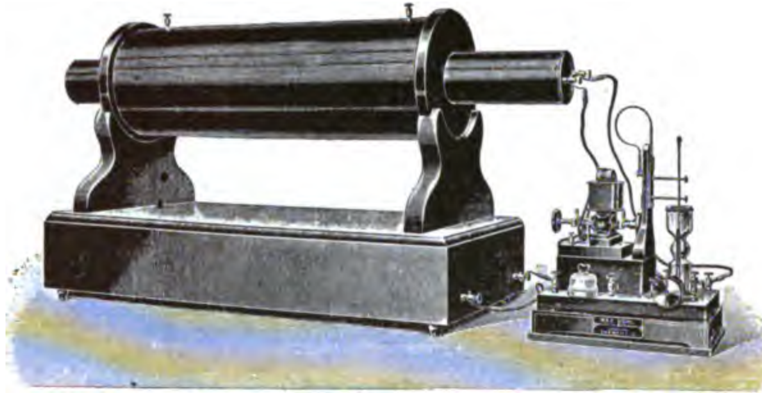
Figur 87.

(vgl. Figur 88, welches den Spezialinduktor. Mcdell Extrem, darstellt) Da zum Betriebe derselben meist Flüssigkeitsunterbrecher angewendet werden, so besitzen dieselben keinen Kondensator. dafür aber, wie wir später sehen werden, variable Selbstinduktion der Primärspule.

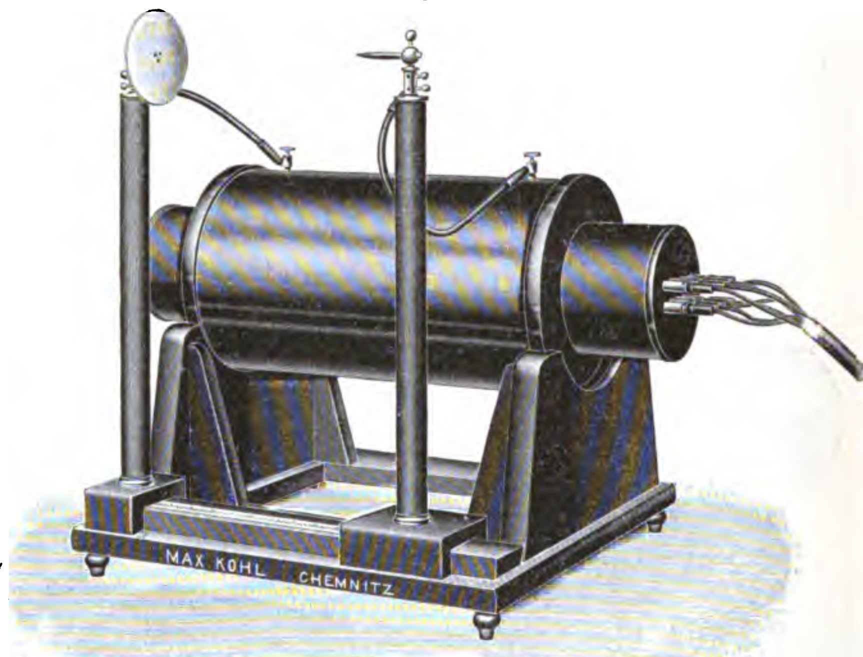


Figur 88.

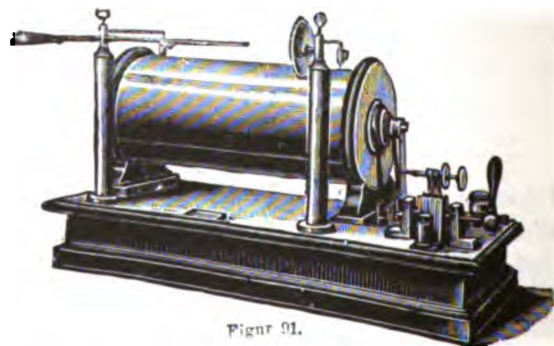
9. Max Kohl, A.-G. in Chemnitz, liefert Funkeninduktoren jeder Art. Figur 89 zeigt einen Induktor normaler Type, Figur 90 einen solchen mit dickem Eisenkern und einer gering-widerständigen Sekundärwicklung für hohe Intensitäten, speziell für Flüssigkeitsunterbrecherbetrieb.



Figur 89.

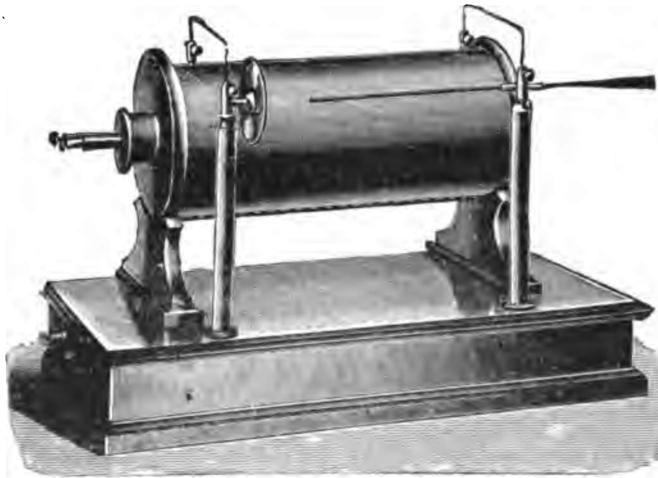


Figur 90.

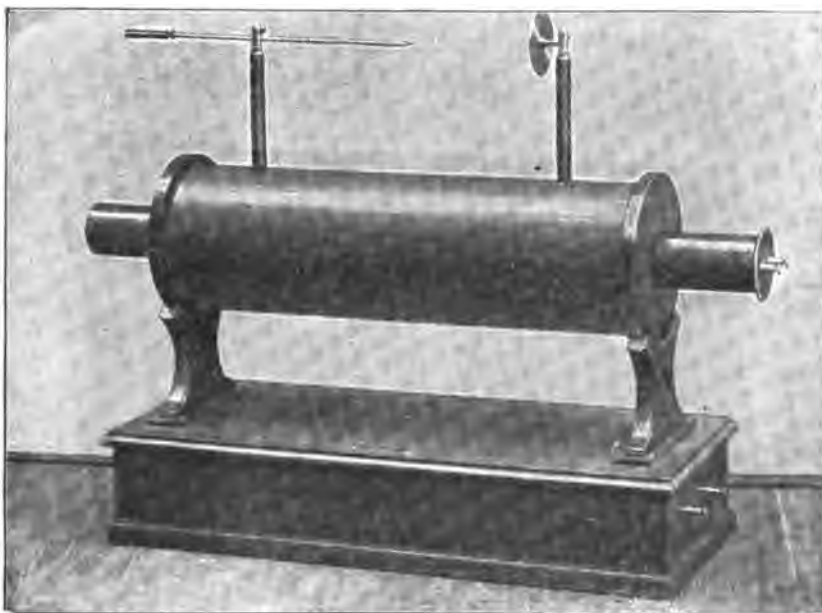


Figur 91.

10. Die **Fabrik elektrischer Maschinen und Apparate Dr. Max Levy** in Berlin baut Funkeninduktoren bis zu 1 m Schlagweite. In den Figuren 91, 92 und 93 sind solche von

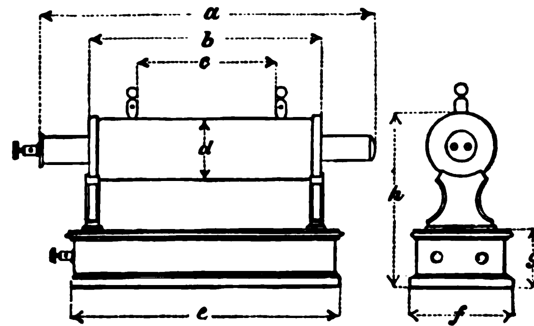


Figur 92.



Figur 93.

15, 30 und 50 cm Schlagweite dargestellt. Die Hartgummiröhren sind auswechselbar. Die Hauptabmessungen seiner Apparate sind aus Figur 94 und folgender Tabelle ersichtlich.

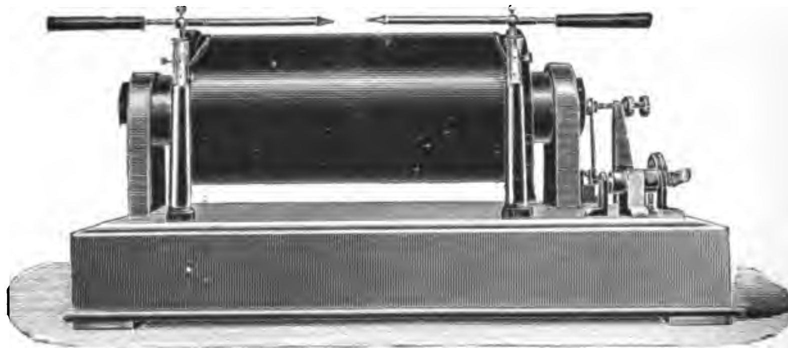


Figur 94.

Funkenlänge des Induktors	Maße in mm a	b	c	d	e	f	g	h
20	370	330	200	145	450	230	110	305
25	500	380	250	180	550	280	150	415
30	620	460	300	195	575	350	150	450
40	810	620	400	220	700	350	150	510
50	1135	790	500	240	940	370	180	600
60	1210	900	600	265	1025	380	180	650
70	1510	1100	700	290	1200	400	200	750
80	1650	1250	800	310	1400	400	200	810
90	1860	1430	900	335	1610	420	200	870
100	1860	1480	1000	360	1610	420	200	930

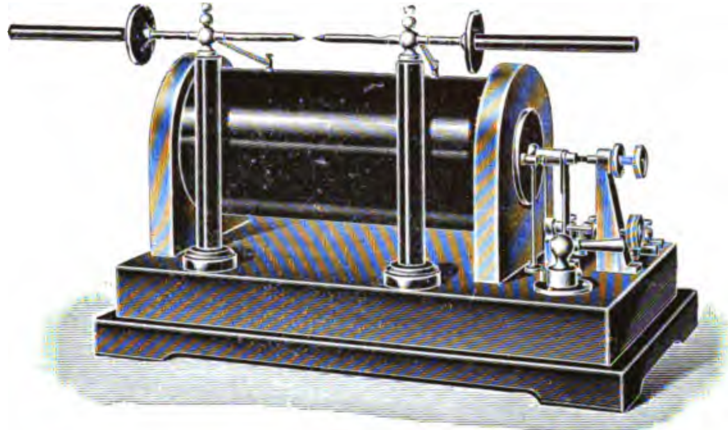
Für Roentgenzwecke führt die Firma außerdem Intensivstrominduktoren, deren Berechnung eine um ca. 35 % erhöhte Funkenlänge zugrunde liegt. Durch Reduktion der so errechneten Größen auf die Verhältnisse eines Induktors kleinerer Funkenlänge, entstanden Typen, die ihrer Größe entsprechend ein Optimum an Leistung geben.

11. Marconis Wireless Telegraph Co., Ltd., London, fertigt Induktoren speziell für drahtlose Telegraphie (Figur 95).



Figur 95.

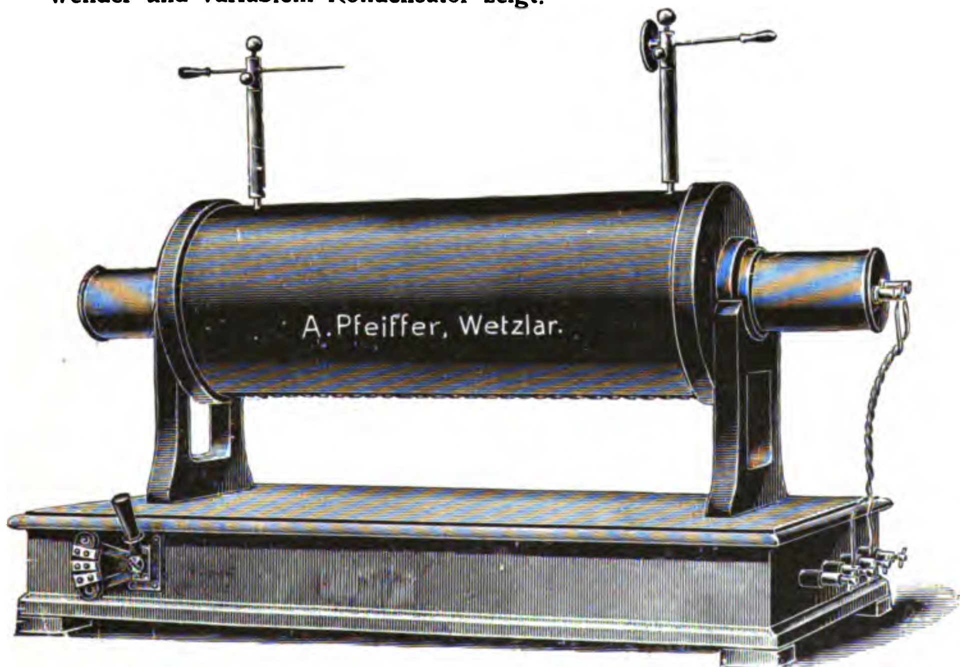
12. Leslie Miller, London. Die Sekundärspulen der Induktoren dieser Firma (Figur 96) sind nach dem bereits oben erwähnten Ver-



Figur 96.

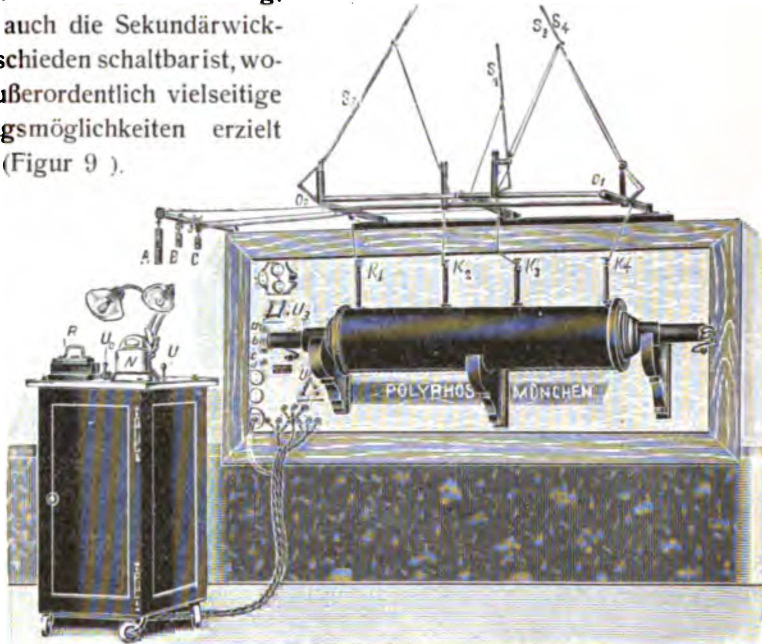
fahren (L. Miller's britisches Patent Nr. 5811 vom 13. III. 1903) gewickelt, sodaß jede Sektion nur eine Drahtstärke dick ist.

13. Arthur Pfeiffer in Wetzlar liefert über 100 verschiedene Ausführungen von Induktoren, von denen Figur 97 einen solchen ohne Stromwender und variablem Kondensator zeigt.

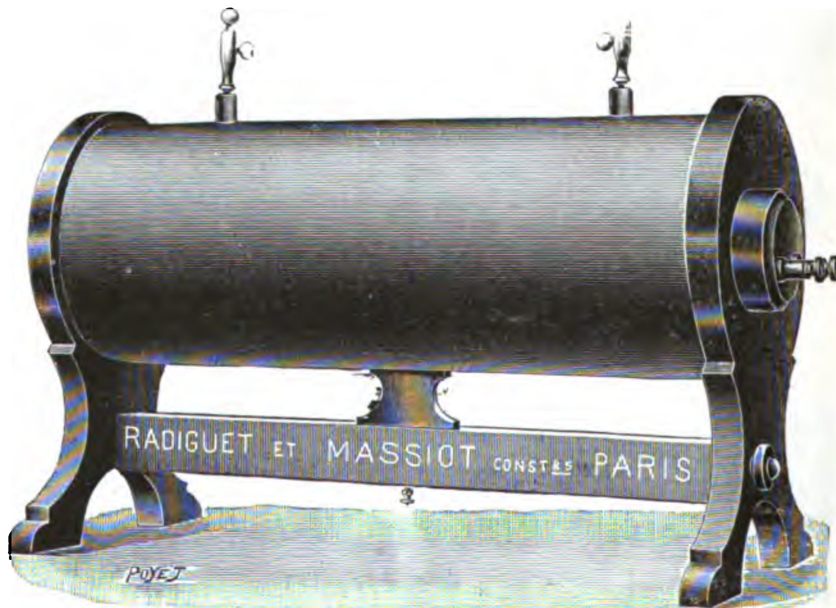


Figur 97.

14. Die **Polyphos Elektrizitäts-Gesellschaft** in München baut Universal-Induktoren nach Dr. **Rosenthal**, welche sich dadurch auszeichnen, daß nicht nur die Primärwicklung, sondern auch die Sekundärwicklung verschieden schaltbar ist, wodurch außerordentlich vielseitige Schaltungsmöglichkeiten erzielt werden (Figur 98).

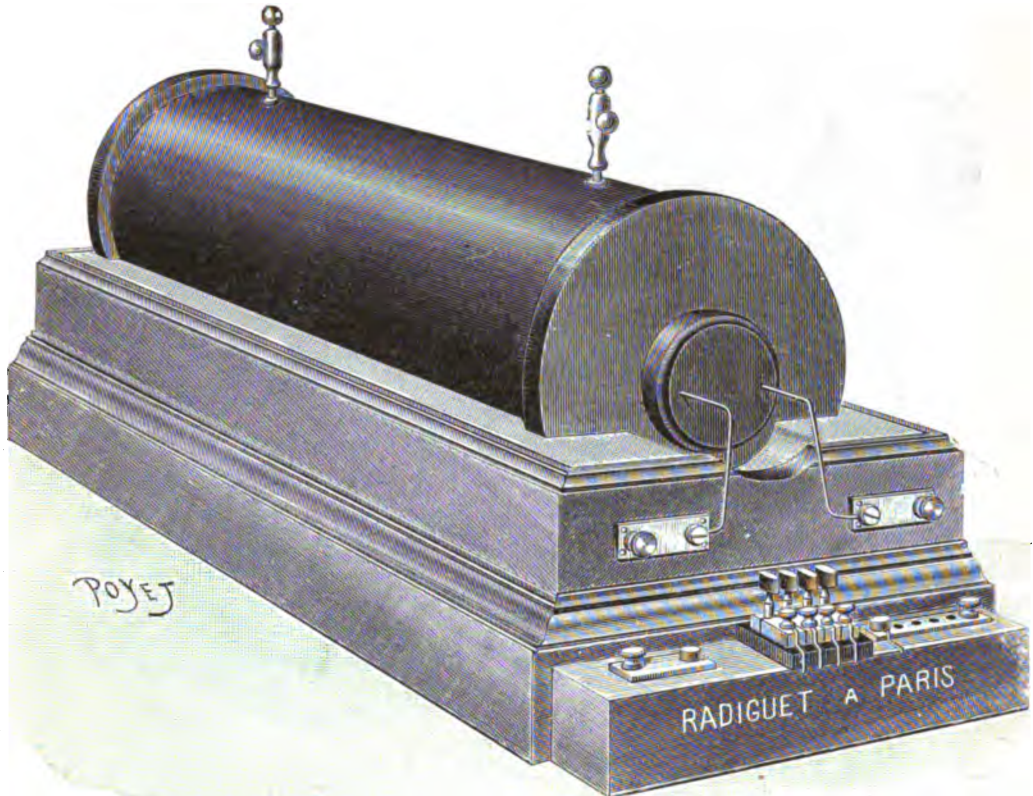


Figur 98.



Figur 99.

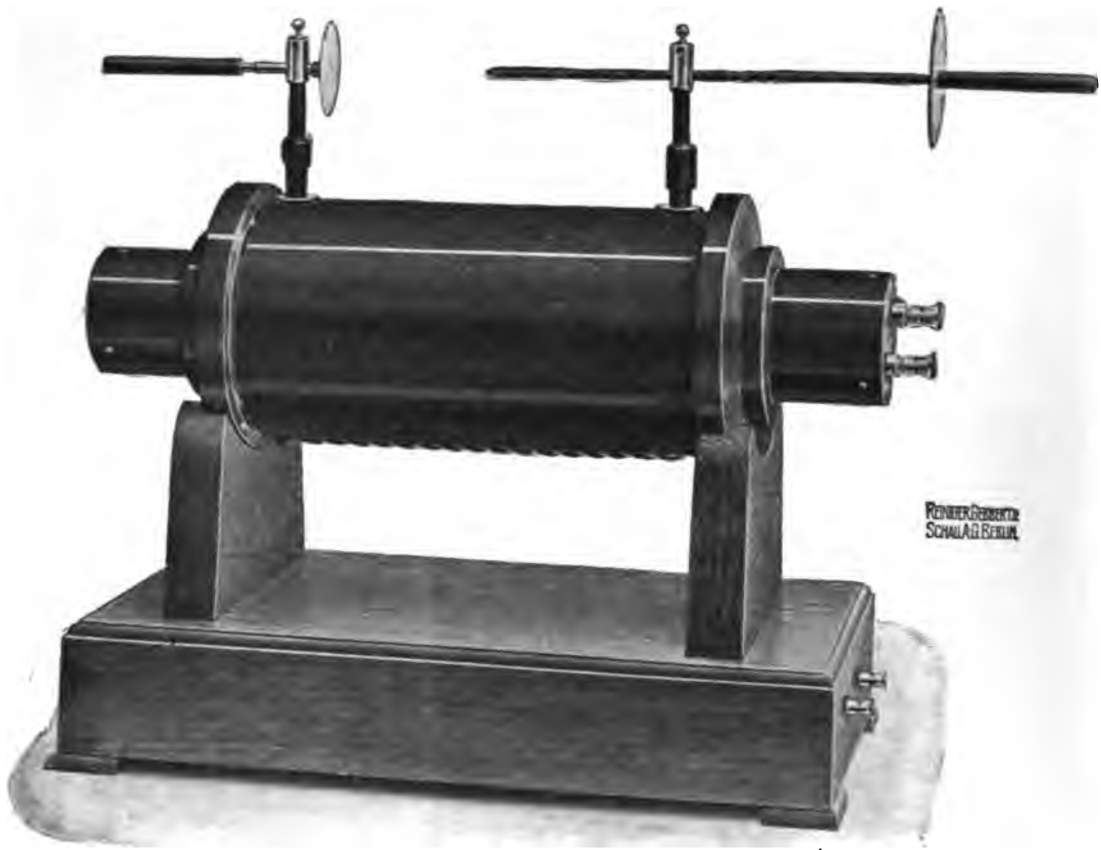
15. **Radiguet & Massiot** in Paris führen zwei Typen von Induktoren (Figur 99 und 100). Bei der letzteren ist die sekundäre Spule in einem mit Paraffin ausgegossenen Grundkasten gebettet (Figur 100).



Figur 100.

16. **Reiniger, Gebbert & Schall** in Erlangen liefern ebenfalls Induktoren jeder Art und Größe speziell für Roentgenzwecke (Figur 101).

17. **Cl. Ropiquet** in Amiens. Die Sekundärspule der Induktoren dieser Firma besteht aus Scheiben, die voneinander durch positive und negative kegelförmige Isolationsscheiben getrennt und abwechselnd oben und unten durch die dünnen Stellen der Scheiben miteinander verbunden sind, sodaß die Dicke der Isolationsschicht genau proportional dem Spannungsunterschied ist. Dieses Isolationsverfahren, welches früher auch von H. Boas angewendet wurde, hat den Vorteil, daß die Raumausnutzung bei höchster Isolation die denkbar beste ist und außerdem ein Minimum der Kapazität resultiert.

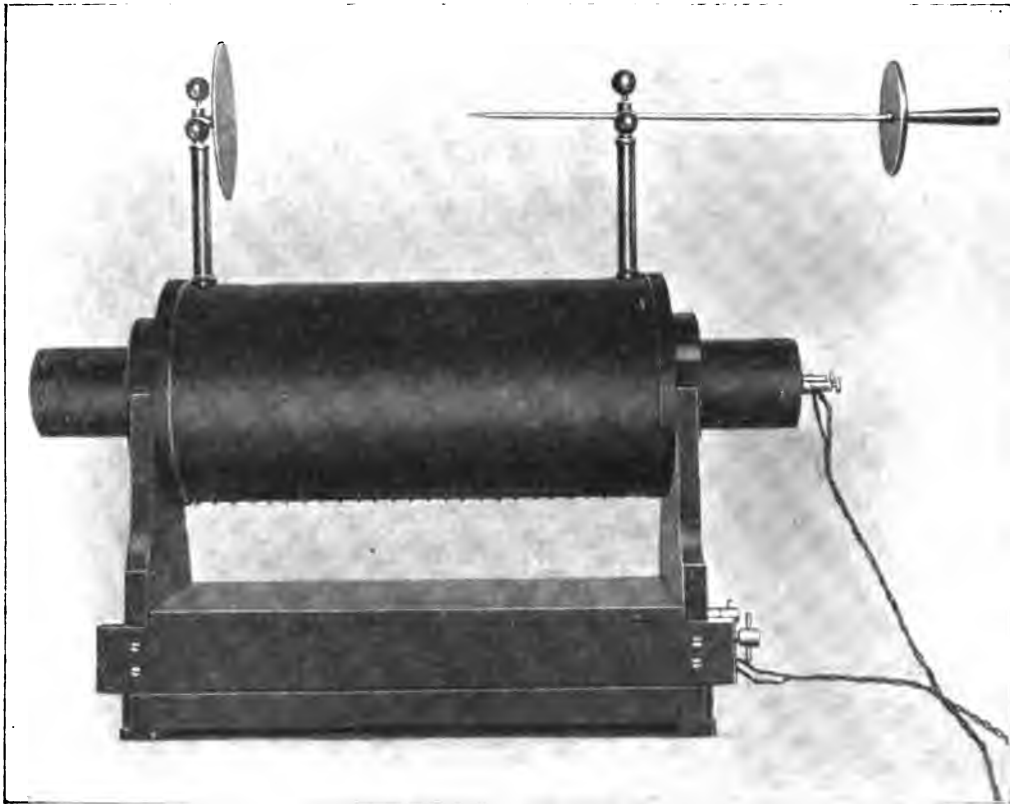


Figur 101.

18. Ernst Ruhmer, Physikalisches Laboratorium, Berlin, fertigt Induktoren für physikalische Versuche. Figur 102 zeigt eine normale Type, Figur 103 einen Spezialinduktor für Kapazitätsladung.



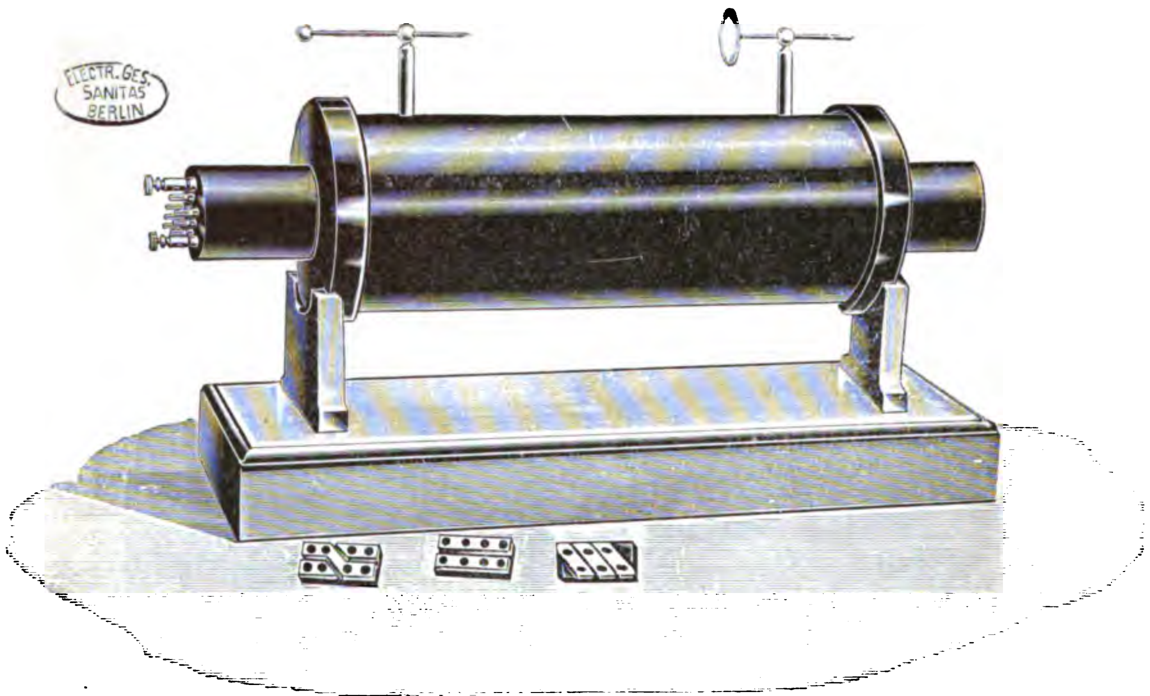
Figur 103.



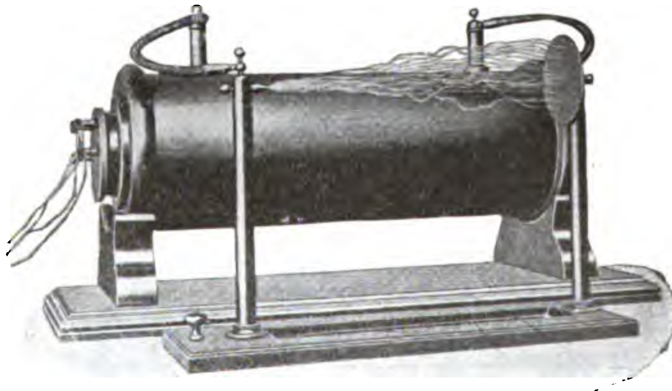
Figur 102.

19. Die Elektrizitäts-Gesellschaft „Sanitas“ in Berlin stellt Induktoren speziell für Roentgenzwecke her. Figur 104 zeigt einen solchen mit Kondensator und dreifach veränderlicher Selbstinduktion der Primärspule.

20. Siemens & Halske, A.-G. in Berlin, liefern die Funkeninduktoren in der in Figur 105 abgebildeten Form. Die Isolierung der Sekundärspule ist durch verhältnismäßig dickes Umgießen der Enden über das sonst übliche Maß ausgedehnt, so daß die Hartgummiröhre nur wenig daraus hervorragt. Zur Verwendung gelangt ein besonderes Isolationsmaterial, welches niemals ganz hart wird und so, ohne rissig zu werden, den größten Temperaturschwankungen widersteht. Die Apparate sind sämtlich mit variabler Primärspule versehen, sowohl bei den Apparaten mit Kondensatoren, die sich für Quecksilber-Unterbrecher und Flüssigkeits-Unterbrecher eignen, als auch bei den speziell für Flüssigkeits-Unterbrecherbetrieb gebauten Apparaten ohne Kondensator.

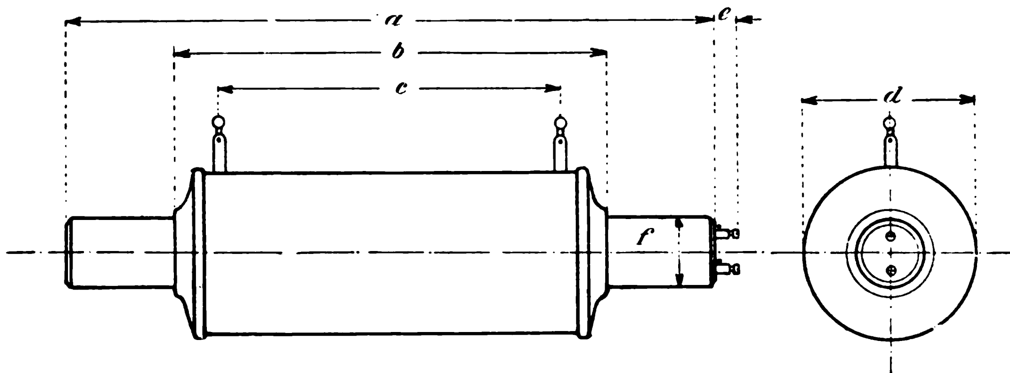


Figur 104



Figur 105.

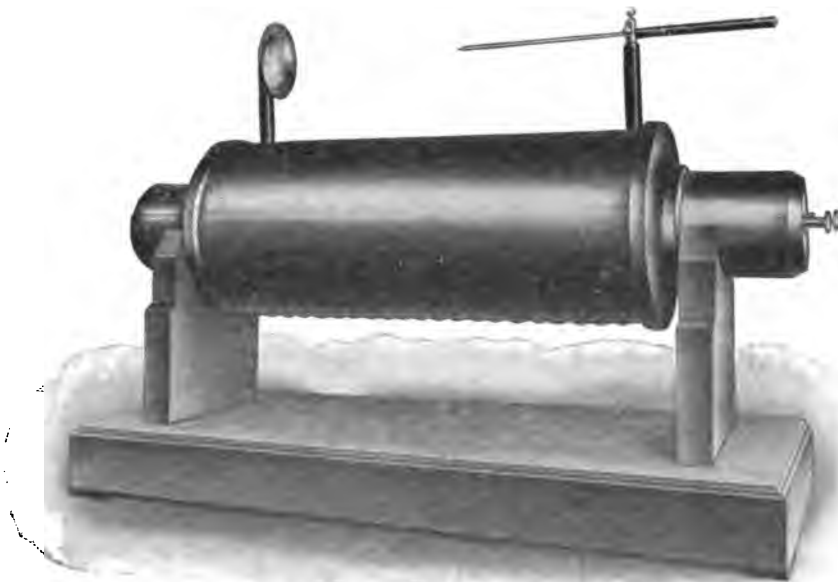
21. Veifa-Werke in Frankfurt a. M. und Aschaffenburg. Die Dimensionen der Induktoren dieser Firma ergeben sich aus der Figur 106 und folgender Tabelle:



Figur 106.

Type	Maße in mm					
	a	b	c	d	e	f
I	330—340	230—250	150—170	140	30	55
II	450—525	330—350	230—265	160—170	30	65—75
III	600	425	335	190	30	75
IV	1030	730	600	265	30	110

Für Roentgenzwecke werden Induktoren mit stärker dimensioniertem Eisenkern und einer Sekundärwicklung aus dickerem Drahte hergestellt (Figur 107).



Figur 107.

22. Außerdem liefern noch Funkeninduktoren: Drault et Raulot-Lapointe in Paris, Ducretet et Roger in Paris, Gaiffe in Paris,

Nostitz & Koch in Chemnitz, Queen and Co. in Philadelphia, K. Schall in London, W. Scheidel Coil Co. in Chicago, Seifert & Co. in Hamburg.

17. Besonders große Apparate.

In folgendem sollen einige Notizen über die größten der bisher gebauten Funkeninduktoren gegeben werden.

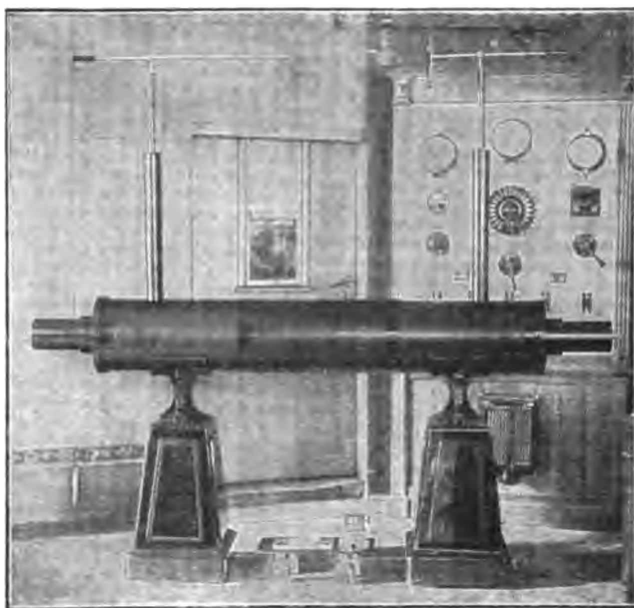
Ein bekannter großer Funkeninduktor ist derjenige des Polytechnischen Instituts in London, der von Apps in London gebaut worden ist. Derselbe ist 3 m lang, die Spule ist 60 cm dick. Der Eisenkern, bestehend aus 1,6 mm dicken Drähten, 1,60 m lang, 10 cm im Durchmesser, wiegt 46 kg. Die Primärspule besteht aus zwölf Lagen eines 2,5 mm starken Drahtes, 6000 Windungen = 3450 m lang, 2,2014 Ohm Widerstand. Die Sekundärspule wird aus einem 0,4 mm starken, doppelt mit Seide besponnenen Kupferdraht, dessen Länge 241 km beträgt, gebildet und hat einen Widerstand von 33 560 Ohm. Die Spule ist aus 200 Sektionen aufgebaut, jede derselben ist 3 mm dick. Zur Isolation dient ein 2,5 m langes, 1,5 cm dickes Hartgummirohr. Bei einer Betriebsspannung von 100 Volt gibt der Apparat Funken von 75 cm Länge.

Von demselben Fabrikanten rührt der Spottiswoode'sche Funkeninduktor her. Er ist so lang wie der vorher beschriebene, aber dicker und besitzt zwei primäre Wicklungen sowie zwei Eisenkerne. Für lange Funken besteht der Eisenkern aus einzelnen Drahtstäben von 0,75 mm Durchmesser, 1,20 m Länge und 9 cm Bündeldicke (Gewicht 30 kg). Die Primärspule hat sechs Lagen = 1344 Windungen eines 2,5 mm dicken Kupferdrahtes = 2,3 Ohm Widerstand; sie ist 1,10 m lang und hat 10 cm äußeren Durchmesser. Für kurze, kräftige Funken, welche zu spektroskopischen Untersuchungen dienen sollen, besteht der Eisenkern aus gleich dicken Drahtstäben, ist 1,20 m lang und hat 10 cm im Durchmesser. (Gewicht 42 kg.) Die Primärspule hat drei Lagen eines dicken Drahtes, jede Lage hat beziehungsweise 0,18, 0,21, 0,23 Ohm Widerstand; sie ist im ganzen 1,10 m lang und hat 14 cm äußeren Durchmesser. Die einzelnen Lagen können beliebig geschaltet werden. Die sekundäre Spule ist 1 m lang bei 50 cm äußerem, 25 cm innerem Durchmesser; sie ist aus vier Teilspulen aufgebaut, die zusammen 341 850 Windungen (= 450 km) eines ca. 0,25 mm dicken Drahtes enthalten; die inneren Teilspulen sind mit etwas dünnerem Draht als die äußeren gewickelt, um Ladungserscheinungen zu vermindern. Der Widerstand der sekundären Wicklung beträgt 110 200 Ohm. Jede Teilspule besteht aus zahlreichen Einzelsektionen. Der Kondensator besteht aus 126 Stanniolblättern von 46 · 21 cm Größe, die durch Papierblätter von 48 · 23 cm Fläche getrennt sind. Bei An-

wendung der erstgenannten Primärspule liefert der Apparat, bei einer Betriebsspannung von 60 Volt, Funken von 1,15 m Länge, bei Benutzung der zweiten Primärspule bei einer Betriebsspannung von 20 Volt 90 cm lange Funken.

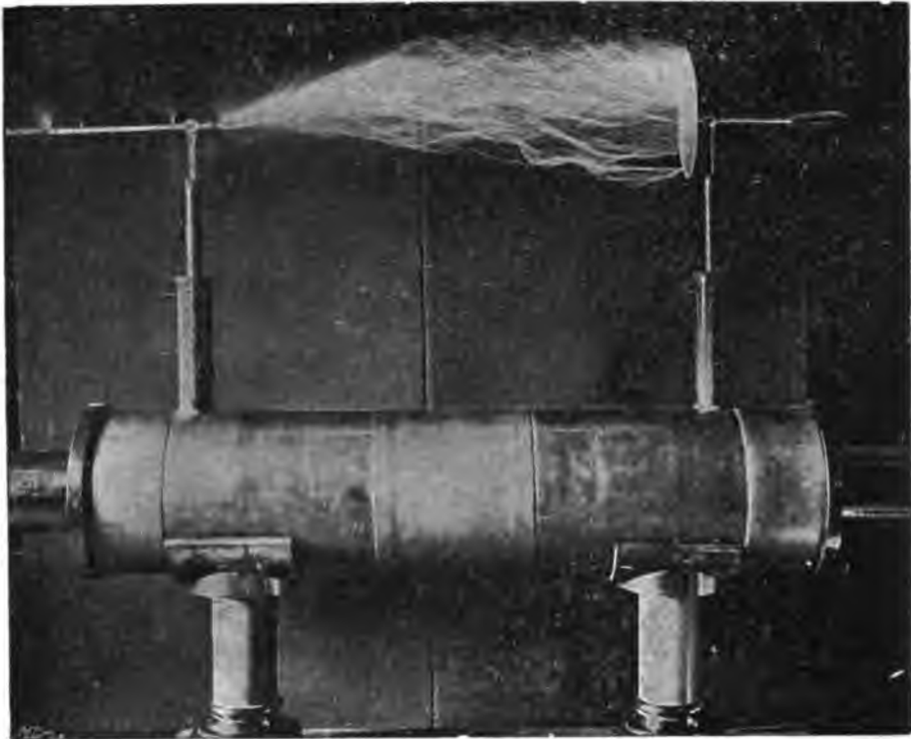
Ein anderer großer Funkeninduktor ist von Heinze in Boston für Professor John Trowbridge angefertigt worden. Derselbe ist nur in eine Umhüllung geschlossen, die sekundären Spulen nicht mit Isoliermasse umgossen, so daß man sie leicht besichtigen und auswechseln kann. Der Eisenkern ist 1,25 m lang, 9 cm dick. Die Primärspule hat nur eine Lage eines 5 mm dicken Kupferdrahtes. Die Sekundärspule wird gebildet aus 140 Sektionen, die voneinander durch 3 bis 4 cm dicke Glasplatten isoliert sind. Jede Sektion besteht aus 500 Windungen. Der Gesamtwiderstand beträgt 246 600 Ohm. Der Apparat liefert bei 110 Volt Betriebsspannung und 10 Ampère dicke Funken von 85 cm Länge.

Einen der größten Induktoren (für 150 cm Funkenlänge) fertigte Fr. Klingelfuß in Basel für die Weltausstellung in Paris 1900 an; Figur 108 gibt ein Bild dieses Apparates.



Figur 108.

Ein von derselben Firma gefertigter Funkeninduktor für 1 m Funkenlänge (Figur 109) hat folgende Hauptmaße: Der Eisenkern ist aus weichen Blechen zusammengesetzt, hat quadratischen Querschnitt von 55 cm Seite und ist 2 m lang. Sein Gewicht beträgt 85 kg. Die Primärwicklung



Figur 109.

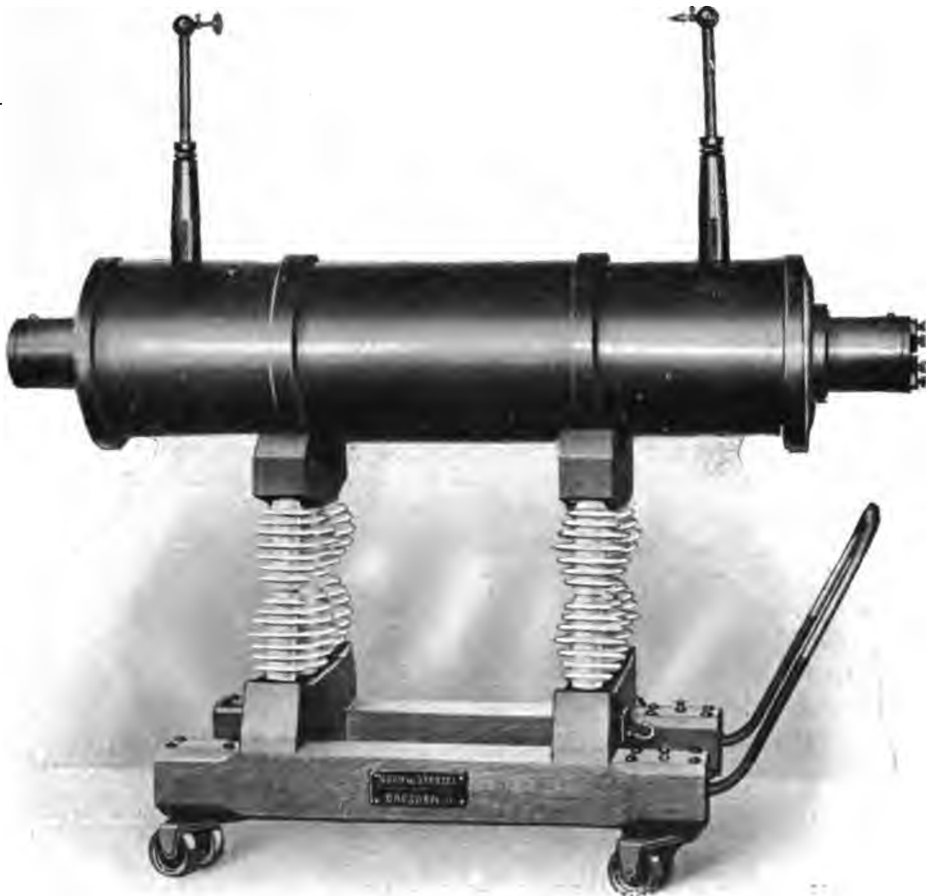
enthält 800 Windungen eines gut isolierten Kupferdrahtes von 0,03 qcm Querschnitt. Die Sekundärspule hat 86 000 Windungen eines nach dem



Figur 110.

bereits auf S. 66—67 ausführlich angegebenen System fortlaufend gewickelten Drahtes. Der Kondensator hat eine Kapazität von 0,1 Mikrofarad. Die Betriebsstromstärke beträgt ca. 20 Ampère.

Figur 110 zeigt einen von derselben Firma hergestellten Induktor für 120 cm Funkenlänge, der an das Astrophysikalische Observatorium in Potsdam geliefert wurde. Die Primärspule, welche 14 cm Durchmesser besitzt und 208 cm lang ist, trägt zwei Wicklungen, von denen die eine 150, die andere 350 Windungen enthält. Die Wandstärke des primäre und sekundäre Spule trennenden Hartgummirohres beträgt 1,5 cm. Die Sekundärspule hat 142 000 Windungen (äußerer Durchmesser ca. 45 cm) und besteht aus zwei in der Mitte zusammengesetzten Teilspulen von je 82 cm Länge (Gesamtlänge 162 cm). Bei Betrieb mittels Kollektor-Queck-



Figur 111.

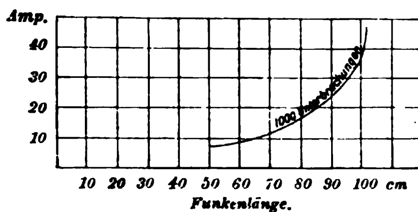
silber-Unterbrecher braucht der Induktor bei voller Schlagweite bei 140 Volt Spannung 4 bis 6 Ampère, bei Betrieb mittels Flüssigkeits-Unterbrechers 65 bis 75 Ampère.

Figur 111 zeigt einen Induktor für 1 m Schlagweite der Firma Koch & Sterzel in Dresden-A., der auf einem fahrbaren Gestell montiert ist.

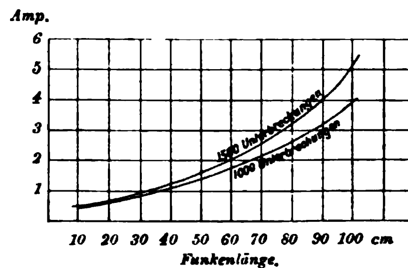
Von Dr. Max Levy in Berlin wurde ebenfalls für die Pariser Weltausstellung ein Funkeninduktor von 1 m Schlagweite angefertigt. Der eiserne Primärkern hat eine Länge von 1,3 m, ist 70 mm im Durchmesser und aus einzelnen Drähten von 1,5 mm zusammengesetzt. Die primäre Windungszahl beträgt 340 und ist dazu ein Draht von 3 mm Dicke verwendet. Die Isolierung der Primärspule von der sekundären ist durch drei übereinander geschobene Hartgummiröhren bewirkt, weil es leichter ist, drei schwächere Röhren, als ein starkes Rohr fehlerfrei herzustellen. Das Innenrohr ist 1,860 m, das Mittelrohr 1,650 m, das Außenrohr 1,420 m lang. Die seitlich auf zwei Böcken und in der Mitte auf einer Hartgummistütze gelagerte sekundäre Spule besitzt einen äußeren Durchmesser von 360 mm. Sie enthält ca. 100 000 Windungen oder ca. 160 km mit Seide besponnenen Kupferdraht. Der in einem Abstande von 320 mm von der sekundären Spule befindliche Kondensatorkasten ist 1,610 m lang, 0,420 m breit, 0,200 m hoch. Die wirksame Fläche des Kondensators beträgt zweimal 30 qm. Dieser Induktor war für eine Betriebsspannung von 110 Volt gebaut, wurde jedoch in Paris direkt an das 220 Voltnetz angeschlossen.

Figur 112 gibt eine graphische Darstellung der Abhängigkeit der Funkenlänge dieses Induktors von der Betriebsstromstärke, die für 1000 Unterbrechungen pro Minute gilt.

Neuerdings hat dieselbe Firma einen anderen Apparat für die gleiche Schlagweite gebaut, der folgende Daten aufweist: Länge des Primärkerns 2,1 m, 60 kg Gewicht; Sekundärspule von Hartgummiabschlußscheibe zu Scheibe 1,48 m; Durchmesser der Sekundärspule: innen 150 mm, außen 360 mm, 20 kg sekundäres Kupfer.



Figur 112.



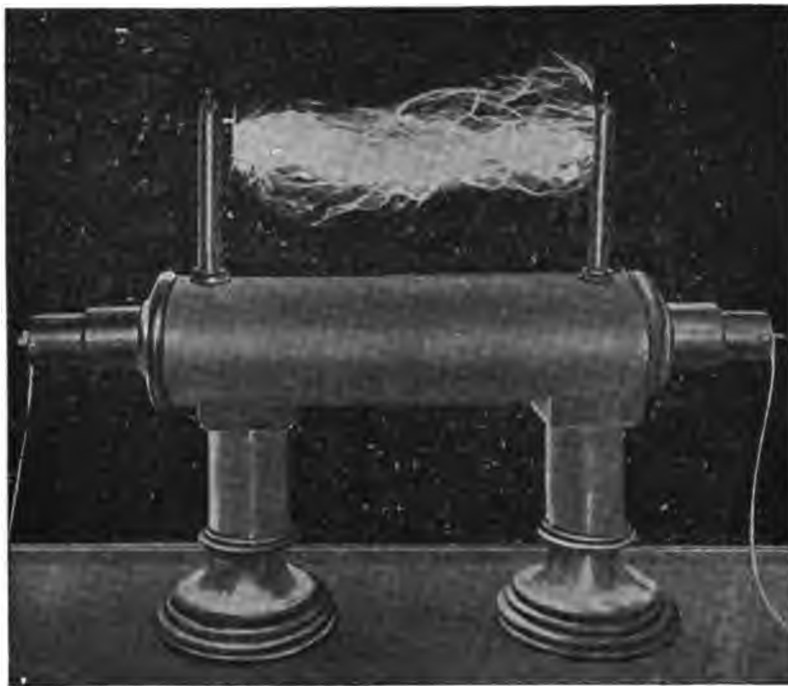
Figur 113.

Figur 113 gibt die Abhängigkeitskurve der Schlagweiten und Betriebsstromstärke bei 1000 und bei 1500 Unterbrechungen in der Minute mittels

Quecksilberstrahl-Unterbrecher und 110 Volt Betriebsstromspannung. Mit einem Plättchenunterbrecher konnte bei 12 Ampère Stromstärke eine Funkenlänge von 93 cm erreicht werden.

Von Queen & Comp. in Philadelphia sind für die Zwecke der Funkentelegraphie an die japanische Regierung zwei große Funkeninduktoren geliefert worden. Der Eisenkern besteht aus Drahtstäben, ist 13 cm dick, 1,2 m lang und wiegt 110 kg. Die Sekundärspule enthält 160 km dünnen Kupferdraht, der in Sektionen gewickelt ist; sie ist des leichteren Transportes wegen in zwei Teilen hergestellt. Diese Induktoren gaben bei 25 Volt und 20 Ampère Funken von 1,20 m Länge.

Figur 114 zeigt einen Funkeninduktor der Siemens & Halske, A.-G. in Berlin, der auf der vom Elektrotechnischen Verein veranstalteten Ausstellung elektrotechnischer Neuheiten 1902 im Betriebe vorgeführt wurde.

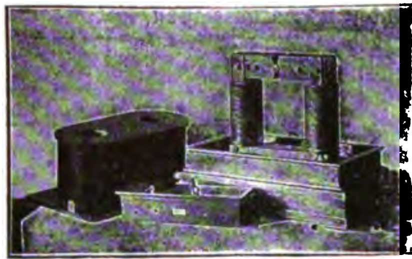


Figur 114.

Zum Betriebe diente ein Quecksilberstrahlunterbrecher. Der Apparat liefert bei 110 Volt Betriebsspannung und ca. 30 Ampère Stromstärke dicke Funken von 1 m Länge.

18. Funkeninduktoren besonderer Art.

Im Anschluß an die bisher beschriebenen Funkeninduktoren normaler Bauart seien noch der Vollständigkeit wegen die Induktoren mit nahezu geschlossenem magnetischen Stromkreise erwähnt, wie solche z. B. Klingelfuß in Basel baut Der Kern ist aus U-förmigen Blechscheiben zusammengesetzt und über jedem Schenkel ist eine Hälfte der sekundären Wicklung angeordnet (vgl. Fig. 115). Zum besseren Schließen des magnetischen Stromkreises können noch zwei Polschuhe, ebenfalls von Eisenblechen zusammengesetzt, hinzugefügt werden, welche zwischen sich nur einen schmalen Abstand lassen. Der Widerstand der sekundären Spule beträgt bei 30 bis 35 cm Funkenlänge nur 3 200 Ohm. Der Kondensator ist abstöpselbar. Dieser in Figur 116 abgebildete Funkentransformator eignet sich speziell für hohe Intensitäten.



Figur 115.

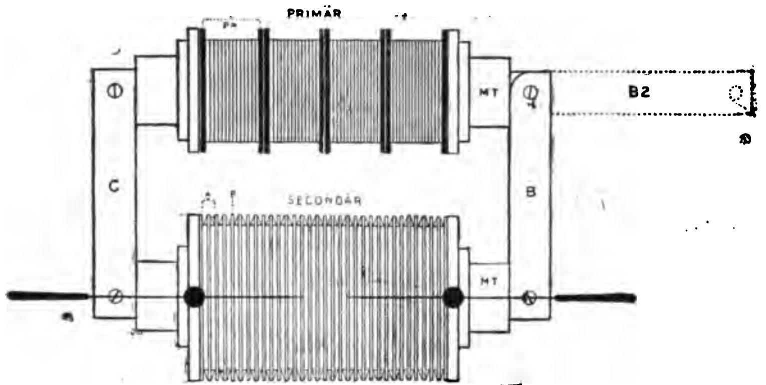


Figur 116.

Einen ähnlichen Induktor der Heinze Electrical Co., Boston*) zeigt schematisch Figur 117. Die Schenkel *M T*, *M T* und die Joche *B* und *C* bilden den Eisenkern und sind in einem Rechteck angeordnet. Auf dem einen Schenkel sitzen vier Primärspulen *P A*, auf dem anderen Schenkel

*) „Der Mechaniker“ 1904, Heft 16.

eine große Anzahl von Sekundärspulen *A* mit Isolierzwischenlagen *P*. Das Joch *B* ist bei *H* drehbar gelagert, so daß es in die punktiert gezeichnete Stellung *B* gedreht werden kann. In dieser können die Primär- und Sekundärspulen von den Schenkeln abgezogen und hierbei sowohl



Figur 117.

das Uebersetzungsverhältnis des Funkeninduktors beliebig variiert, als auch beschädigte Spulen bequem entfernt werden.

19. Untersuchungen an Funkeninduktoren.

Fr. Klingelfuß in Basel hat vor kurzem eine Untersuchung*) über den rationellen Bau von Funkeninduktoren angestellt, um die Abhängigkeit der Funkenlänge von den Windungszahlen, den Einfluß des Eisenkernes und des Kondensators sowie die zu einer bestimmten Funkenlänge erforderliche elektromotorische Kraft in der sekundären Spule zu ermitteln.

Zunächst stellt er fest, daß die Funkenlänge der sekundären Spule in gleichem Verhältnis mit der Windungszahl wächst, falls die Magnetisierung des Eisenkerns und die Größe des Kondensators während der Versuchsreihe nicht geändert wird.

Verwendet man statt der offenen, stabförmigen Magnetkerne nahezu geschlossene Kerne, wie es z. B. bei den Klingelfußschen Funkentransformatoren (vergl. S. 86) der Fall ist, so zeigt sich, daß die Induktionswirkung wächst, die Entladungsfunken werden nicht nur länger, sondern auch dicker. Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

*) Verhandlungen der Naturforschenden Gesel'schaft in Basel. 1900. Bd. XIII, Heft 2.

Tabelle I.

Anzahl der sekund. Windungen	6000	8000	10 000	12 000	14 000	16 000	18 000	20 000
Funkenlänge bei offnem Eisenkern in Centimetern . . .	6	8,5	11	13,5	16	18,5	21	23,5
Funkenlänge bei fast geschloßnem Eisenkern . . .	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5

Der Spalt beim Elektromagneten muß eine ganz bestimmte Breite haben, um die maximale Wirkung zu erhalten, er betrug 1 cm; bei ganz geschlossenem Eisen geht die Leistung erheblich zurück.

Leider konnten mit einem Eisenkern von nahezu geschlossener Form die Beobachtungen nicht über 42,5 cm Funkenlänge fortgesetzt werden, weil sich sonst die auf beiden Schenkeln untergebrachten Spulenhälften der sekundären Spule mit ihren Windungen größter Potentialdifferenz derart näherten, daß die Entladung bei weiterer Steigerung der Spannung zwischen den beiden Spulen erfolgt wäre. Um obige Versuche machen zu können, waren die Spulen bereits mit einem flüssigen Isolator umgeben worden; die Beobachtungen für größere Funkenlängen als 42,5 cm wurden deshalb an einem ungeschlossenen, stabförmigen Elektromagneten fortgesetzt. Diese Resultate erhält folgende Tabelle:

Tabelle II.

Windungszahl	20 000	30 000	40 000	50 000	60 000	70 000	80 000	84 000
Funkenlänge in Centimetern	23,5	35	47,5	58,5	71,5	83,5	96	100

Die dazu verwendeten Eisenkerne waren aus besten schwedischen Eisenblechen von 0,5 mm Dicke hergestellt, sie hatten Quadratquerschnitt mit gebrochenen Ecken. Die Seite des Quadrats ist etwa $^1/_{2}$ der Länge des Eisenkerns. Ist der Querschnitt in bezug auf die Länge sehr groß, z. B. die Quadratseite nur $^1/_{12}$ der Kernlänge, so erhöhten sich die erreichbaren Funkenlängen um ca. 25 %.

Aus den Tabellen geht außerdem hervor, daß sich die zum Durchschlagen einer gewissen Funkenstrecke erforderliche Potentialdifferenz an den Enden der sekundären Spule schon mit einer beträchtlich kleineren Anzahl von Drahtwindungen erreichen läßt, als bei den gewöhnlich im Handel vorkommenden Induktoren vorhanden sind. Zum Beispiel hat ein älteres Carpentiersches Induktorium bei 45 cm Funkenlänge 153 000 sekundäre Windungen, während Klingelfuß dieselbe Schlagweite schon mit 38 000

Windungen erzielte. Allerdings setzen solche Spulen mit wenigen Windungen und hoher Potentialdifferenz ihrer Enden eine bedeutend bessere Isolierung voraus, was bei den Klingelfußschen Induktoren tatsächlich erreicht ist. Damit die sonst übliche Hintereinanderschaltung der Teilspulen durch die Verbindungen ihrer Drahtenden und deren Spitzenwirkung wegfalle, wickelt Klingelfuß sämtliche Teilspulen aus einem fortlaufenden Draht, wie wir auf S. 66—67 bereits kennen gelernt haben.

Der Verfasser geht ferner auf die Bedeutung des Extrastromes für die induzierte Spannung ein. Würde man die Spannung des zur Magnetisierung des Eisenkerns dienenden Stromes als die primäre Spannung voraussetzen und aus dieser, mit dem Verhältnis der Windungszahlen beider Spulen, die sekundäre Spannung berechnen, so würde man finden, daß sich eine solche ergibt, die gerade hinreicht, einen Funken von einigen Millimetern, statt wie es in Wirklichkeit der Fall ist, einen solchen von vielen Zentimetern zu erzeugen. Folglich müssen in der primären Spule viel höhere Spannungen herrschen, und zeigt Klingelfuß, auf die Spannungen des Extrastromes näher eingehend, daß dieselbe das 100 bis 200fache der Spannung des Erregerstromes betragen kann. Während nun der Magnetisierungsstrom nach erfolgter Unterbrechung rasch auf Null abfällt, was ein Verschwinden der magnetischen Kraftlinien zur Folge hat, kann der Extrastrom nach erfolgter Unterbrechung des Magnetisierungsstromes zwischen der primären Spule und dem Kondensator schwingen, wobei derselbe der Eigenperiode des Systems entsprechend oszilliert.

Diesen Wechseln muß aber die Ummagnetisierung des Eisenkerns folgen, und die dadurch hervorgebrachte schnelle Aenderung des Magnetfeldes ist es, welche die außerordentlich hohen elektromotorischen Kräfte in der sekundären Spule induziert. Die schnelle Unterbrechung des Magnetisierungsstromes dient also gleichsam nur als Anstoß uud verhütet gleichzeitig, daß der induzierte Extrastrom sich zwischen den Unterbrecherkontakten ausgleicht; je schneller die Unterbrechung erfolgt, ein umso größerer Teil des Extrastromes wird übrig bleiben, um die Magnetisierungswechsel und die dadurch bewirkte eigentliche Induktionswirkung hervorzubringen.

Wegen der großen Bedeutung des Extrastromes hat Klingelfuß eine Reihe von Spannungsmessungen desselben mittels eines parallel zum Kondensator geschalteten Funkenmikrometers angestellt. Während die Funkenlängen am Kondensator vollständig proportional der Stromstärke zunehmen, wenn sich keine sekundäre Spule über der primären befindet, ist dies bei übergeschobener Sekundärspule nicht mehr ganz der Fall. Dies liegt, wie wir später sehen werden, daran, daß die Spannung bei Funken mit größerer Stromstärke zunimmt, gleichgültig, ob die durchschlagene Strecke größer oder kleiner ist.

Schließt man aus der Länge der Funken am Kondensator auf die Spannung des Extrastromes, so ist letztere dem Magnetisierungsstrom nahezu proportional.

Gleichzeitig geht daraus hervor, daß der primäre Extrastrom (bei gleicher Kapazität und gleicher Stromstärke) eine um so höhere Spannung haben wird, je weniger Windungen im sekundären Stromkreise vorhanden sind.

Die Kondensatoren müssen daher eine um so stärkere Isolation haben, je kleiner die Windungszahl in der sekundären Spule ist, mit welcher eine gewisse Funkenlänge erreicht werden soll.

Aus dem Verhältnis der Windungszahlen beider Spulen und der Spannung des Extrastromes ergeben sich folgende Werte:

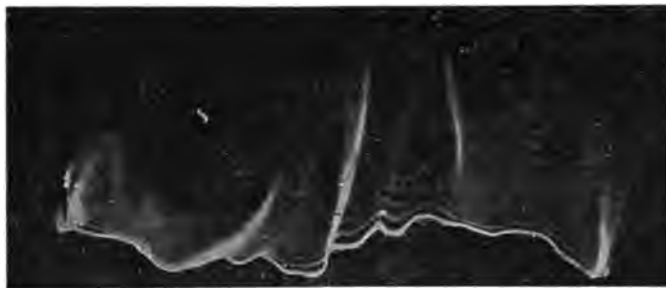
Werte: Funkenlänge .	10	20	30	40	50	60	70	80	90	Centimeter
Spannung . .	107	156	183	220	267	323	387	473	618	Tausend Volt

die bei Anwendung verschiedener sekundärer Spulen untereinander und mit den Angaben anderer Beobachter übereinstimmen.

Setzt man voraus, daß die magnetische Induktion bei den von Klingelfuß untersuchten Induktoren nicht über 10 000 Einheiten betragen hat, so kann man als erste Annäherung bei der Abhängigkeit zwischen Magnetisierungsstrom und magnetischer Induktion eine direkte Proportionalität zwischen sekundärer Spannung und dem Magnetfelde annehmen. Anders verhält es sich mit der Abhängigkeit zwischen Funkenlänge und Spannung, zwischen denen keine Proportionalität stattfindet. Auf diesen Umstand ist bereits hingewiesen, da die Spannung eines Funkens nicht allein von dem Widerstande der durchschlagenen Luftstrecke, sondern auch von der Stromstärke des Funkens abhängt. Wird die Kapazität des Kondensators nicht verändert und die Magnetisierung auf gleiche Höhe gebracht, so induziert das Induktorium, unabhängig von der Länge der sekundären Funken, innerhalb der Belastungsgrenzen auf gleichbleibende Spannung — ein Gesetz, das mit dem für technische Transformatoren Aehnlichkeit hat.

Schließlich untersucht Klingelfuß den Einfluß des Kondensators auf den primären Extrastrom. Er stellt fest, daß man mit jedem, auch einem zu großen Kondensator, eine bestimmte Funkenlänge erzielen kann, wenn man nur den Betriebsstrom passend wählt. Die Spannung am Kondensator muß für die bestimmte Funkenlänge eine gewisse sein, derart, daß dieselbe, mit dem Verhältnis der Windungszahlen multipliziert, die für die geforderte Funkenlänge im Minimum notwendige Spannung ergibt. Nun zeigt sich aber der merkwürdige Umstand, daß die so erhaltenen Funken einer bestimmten Schlagweite, bei Vergrößerung des Kondensators und gleichzeitiger

Vermehrung der Stromstärke, immer dicker werden, was scheinbar im Widerspruch mit den früheren Ergebnissen steht, wonach ein Funke von konstanter Länge höhere Spannung hat, wenn die scheinbare Elektrizitätsmenge in der Entladung größer ist. Klingelfuß weist nach, daß Funken von scheinbar gleicher Dicke und gleicher Länge ganz verschiedene Spannungen haben können, und zwar eine niedrigere Spannung bei größerem Kondensator, eine höhere mit kleinerem Kondensator, wenn der Betriebsstrom unverändert gelassen wird. Dies Verhalten ist in der Eigenschwingung des Systems begründet, welche man aus dem Abstande zweier aufeinander folgenden Funken einer ausgeblasenen Einzelentladung (Figur 118) bestimmen kann. Berücksichtigt man diese verschiedene Periode, so ergibt sich tatsächlich, daß Entladungen bei unveränderter Länge der Luftstrecke eine andere Spannung haben müssen, wenn der Betriebsstrom oder die Kapazität einseitig geändert wird. Dieselbe behält für verschiedene Betriebsstromstärken und Kapazitäten nur dann den gleichen Wert, wenn das Verhältnis von Magnetisierungsstromstärke zu dem Produkte aus Kapazität und Eigenperiode des primären Stromkreises proportional ist. Mit Rücksicht auf diesen Umstand, daß in diesem Falle eine Spule zu ihrer höchsten Leistungsfähigkeit gebracht werden kann, ohne die Spannung in einer die Isolation gefährdenden Weise zu erhöhen, bezeichnet Klingelfuß alsdann Kapazität und Betriebsstrom in bezug auf die Spule im Normalzustand.



Figur 118.

Nur die im Normalzustande induzierte Spannung und die Größe des Grenzbereichs, innerhalb welcher der Normalzustand durch Veränderung der Magnetisierungsstromstärke und Kapazität hergestellt werden kann, gibt ein wahres Bild der Leistungsfähigkeit einer Spule.

Sechstes Kapitel.

Die Unterbrecher für Gleich- und Wechselstrom.

Die Stromunterbrecher, denen wir uns im folgenden Abschnitte zuwenden, haben in letzter Zeit einen hohen Grad technischer Vollkommenheit erreicht, so daß sie den meisten Anforderungen, welche man nach der bereits gegebenen Erklärung über die Wirkung eines Induktors an einen solchen Apparat stellen muß, genügen. Bei großer Gleichmäßigkeit und hoher Frequenz soll ein guter Unterbrecher Ströme hoher Spannung und Stromstärke exakt und absolut regelmäßig unterbrechen und dabei möglichst geräuschlos arbeiten, wenn letzteres auch auf die Wirkung an und für sich ohne Einfluß ist.

Man kann die zahlreichen Unterbrecher einteilen in:

a) Platin-Unterbrecher, bei denen die Unterbrechung zwischen festen Metallen, vorzugsweise zwischen Platin und Platin erfolgt;

b) Quecksilber-Unterbrecher, bei denen ein fester und ein flüssiger Leiter (Quecksilber) zur Anwendung kommt

c) Flüssigkeits-Unterbrecher, bei denen die Unterbrechung zwischen Metall und einem Elektrolyten oder innerhalb eines Elektrolyten stattfindet und

d) Gas-Unterbrecher, bei denen eine die Elektrizität leitende Gasbahn (Lichtbogen oder dgl.) rhythmisch unterbrochen wird.

Einige dieser Unterbrecher sind sowohl für Gleichstrom als auch für Wechselstrom brauchbar, die meisten jedoch nur für Gleichstrom. Außerdem kann man die Unterbrecher auch danach einteilen, ob dieselben automatisch wirken oder einen besonderen Antrieb erfordern.

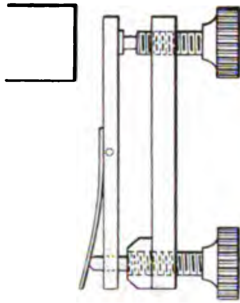
1. Die Unterbrecher für Gleichstrom.

a) Platin Unterbrecher.

Der einfachste Unterbrecher ist der nach dem Prinzip des Neef-Wagner'schen Hammers konstruierte Platin-Unterbrecher, den wir bereits besprochen haben (vgl. S. 3). Er läßt sich jedoch nur für kleine Induktoren bis zu etwa 15 cm Funkenlänge anwenden und gibt nur etwa 15 bis 20 Unterbrechungen pro Sekunde.

Erwähnt sei hier noch ein Vorschlag d'Arsonval's, den feststehenden Platinkontakt durch einen rotierenden Platinzylinder zu ersetzen, um eine ungleiche Abnutzung desselben zu vermeiden und so einen stets sicheren Kontakt zu erzielen.

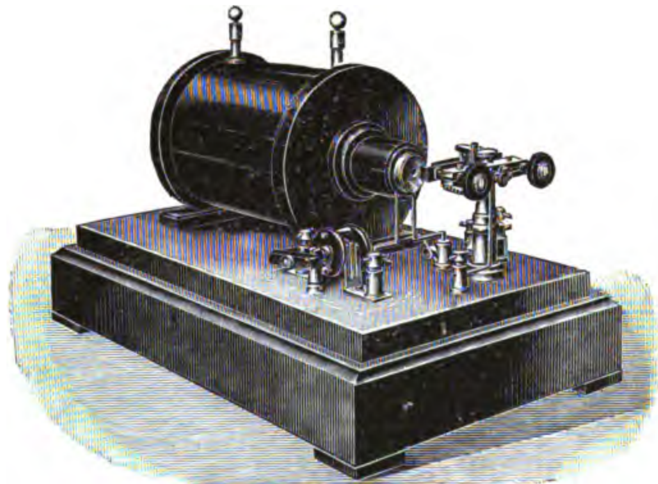
Um seine Frequenz zu erhöhen und die Unterbrechungen plötzlicher zu machen, hat man den Neef-Wagnerschen Hammer in mehrfacher Weise abgeändert. Bei dem sehr verbreiteten Deprez-Unterbrecher wird ein um seine Mitte schwingender Eisenanker durch Federkraft mit einem am Anker befestigten Platinstück gegen ein zweites, verstellbar angeordnetes Stück gepreßt (vergl. schematische Figur 119). Je stärker man die Stellfeder spannt, um so schneller und plötzlicher erfolgen die Unterbrechungen, doch darf die Federspannung der magnetischen Anziehung des Ankers nicht gleich kommen, weil sonst die Platinkontakte aneinander haften bleiben würden. Zum guten gleichmäßigen Funktionieren des Deprez-Unterbrechers (Figur 120) ist es erforderlich, daß das an dem Eisenbalken, gegenüber der Unterbrechungsstelle befestigte Messingplättchen, welches den magnetischen Schluß zwischen Anker und Induktorkern verhindern soll, nicht weiter als 1 mm vom Magnetkern



Figur 119.



Figur 120.

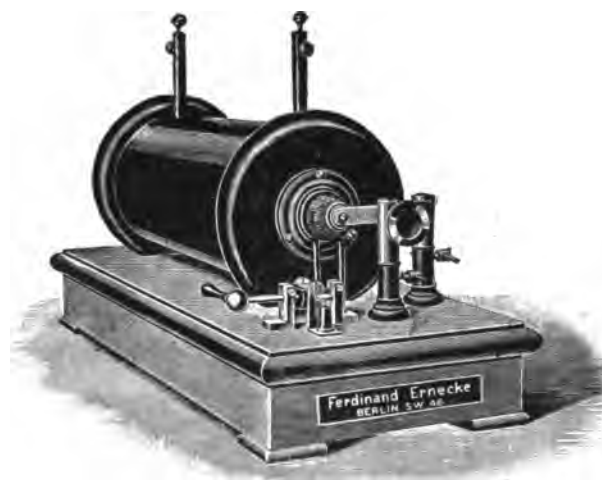


Figur 121.

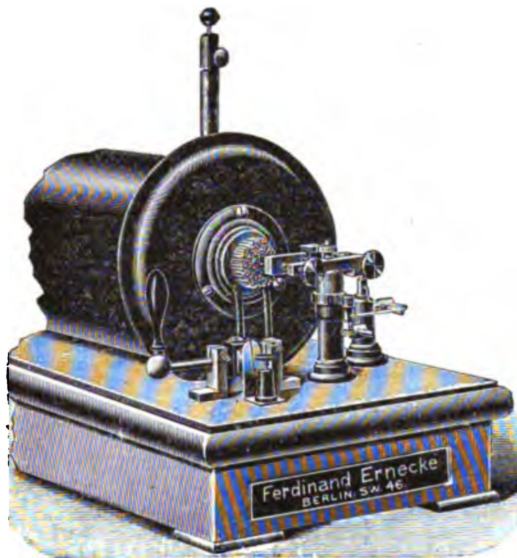
entfernt sei. Man erreicht diese Einstellung leicht durch Drehen des Unterbrechers um die in der Säule steckende Achse.

Die Wirkungsweise des Drepez-Unterbrechers ist die gleiche wie beim Hammer-Unterbrecher. Während jedoch bei letzterem die Schwingungs-

dauer und damit auch die Unterbrechungszahl fast ausschließlich durch die Elastizität der Feder und die Masse des Hammers geregelt wird, hängt dieselbe beim Deprez-Unterbrecher lediglich von der Schnelligkeit ab, mit welcher die primäre Stromstärke einen gewissen Wert, der sich mit der Federspannung ändert, erreicht. Die Unterbrechungszahl läßt sich daher in weiten Grenzen regulieren, einerseits durch Veränderung dieser Federspannung, andererseits durch Erhöhung der Betriebsspannung, da dann die Stromstärke schneller ansteigt. Der Deprez-Unterbrecher besitzt aber neben diesem Vorzug der Regelbarkeit der Unterbrechungszahl (etwa 15 bis 40 pro Sekunde) auch noch den des sicheren und gleichmäßigeren Arbeitens. Während nämlich der Hammer-Unterbrecher infolge seiner Eigenschwingung weiter arbeitet, selbst wenn der Kontakt bei einer Schwingung nicht gut und infolgedessen die Stromstärke im Moment der Unterbrechung noch nicht genügend angestiegen ist, kann beim Deprez-Unterbrecher die Unterbrechung erst dann eintreten, wenn die Stromstärke den der jeweiligen Federspannung entsprechenden Wert tatsächlich erreicht hat. Der Funkenübergang muß daher bei letzterem bedeutend regelmäßiger ausfallen als bei ersterem. Endlich ist aber auch der Effekt ein günstigerer, weil die Trennungsgeschwindigkeit der Kontakte größer ist und damit die Stromunterbrechung schneller erfolgt als beim Hammer-Unterbrecher, bei dem die Unterbrechungsstelle an einem Punkte der vibrierenden Feder liegt, an der die Amplitude bedeutend geringer ist als die des Hammers. Figur 121 zeigt einen kleineren, mit Deprez-Unterbrecher ausgerüsteten Induktor.



Figur 122.

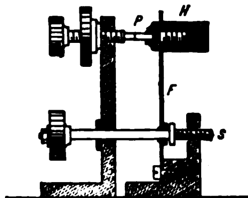


Figur 123.

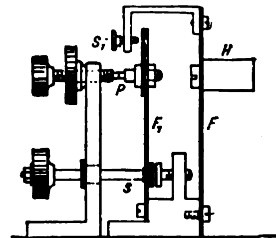
In Figur 122 und 123 ist die Anbringung eines Hammer- und eines Deprez-Unterbrechers an einem Induktor von Ferdinand Ernecke in Berlin dargestellt. Durch Lösen der beiden Säulenschrauben kann der eine Unterbrecher entfernt und durch den andern ersetzt werden. Keiser & Schmidt, in Berlin, erreichen diese Auswechselbarkeit in anderer Weise durch eine Schlittenvorrichtung.

Siemens & Halske in Berlin benutzen eine vertikale Anordnung des Deprez-Unterbrechers, wie Figur 124 zeigt.


Figur 124.



Figur 125.

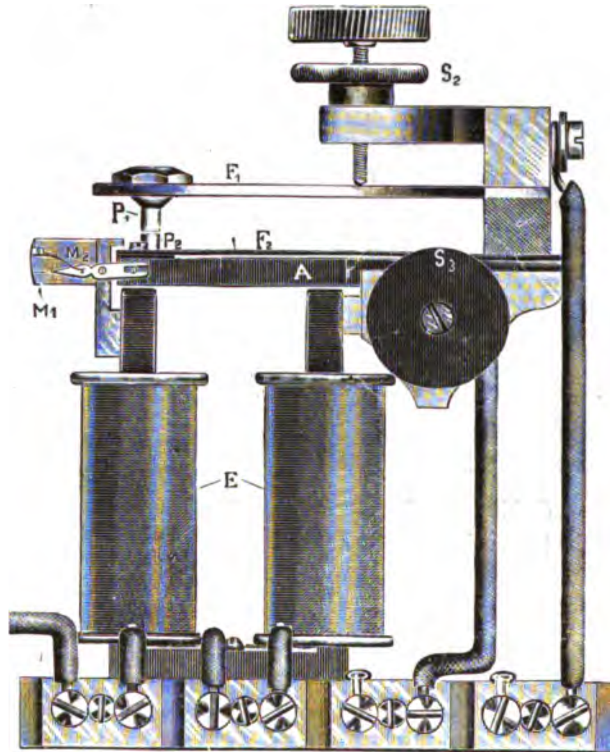


Figur 127.

Figur 125 stellt die englische, von Apps konstruierte Type des Deprez-Unterbrechers dar. *H* ist der an einer Blattfeder *F* befestigte Hammer aus Eisen mit dem Platinkontakt *P*. Die Stellschraube *S*, welche durch den Kontaktständer isoliert hindurchgeführt ist, gestattet es, die Federspannung zu regulieren.

Figur 126 zeigt einen ähnlich konstruierten Unterbrecher der Polyphos Elektrizitäts-Gesellschaft, München, der durch einen besonderen, mit der Primärspule des Induktors in Serie geschalteten Elektromagneten E gespeist wird. Der gewöhnlich fest angeordnete Platin-

kontakt P_1 befindet sich hier an einer Feder F_1, deren Stellung durch die Stellschraube S_2 reguliert werden kann; Stellschraube S_1 dient zur Spannung der Unterbrecherfeder.

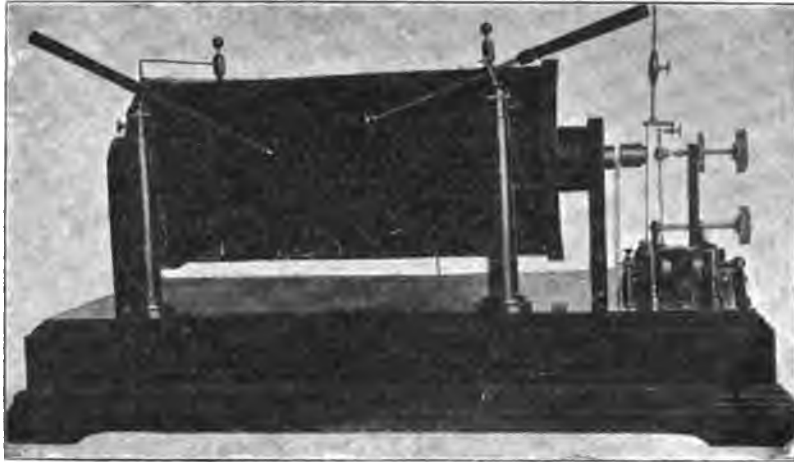


Figur 126.

Bei geringer Betriebsspannung (Akkumulatorenbetrieb) und Induktoren bis zu 30 cm Schlagweite wird sich die Anwendung des Deprez-Unterbrechers überall da empfehlen, wo es auf hohe Frequenz ankommt, z. B. für Roentgenzwecke bei Beobachtungen mittels Fluoreszenzschirms, zur Abkürzung der Expositionszeit bei photographischen Aufnahmen usw.

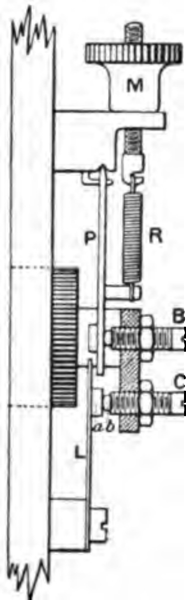
Eine Modifikation des Deprez-Unterbrechers ist der Vril-Unterbrecher. Derselbe bewirkt eine verlängerte Kontaktdauer, wodurch der Eisenkern des Induktors bis zur Sättigung magnetisiert werden kann. Hieraus resultiert wohl ein größerer Stromverbrauch, allein auch die in der sekundären Wicklung induzierte elektromotorische Kraft ist bedeutend größer. Wie aus Figur 127 zu erkennen ist, wird bei dem Vril-Unterbrecher eine besondere Feder F_1 für das vibrierende Kontaktstück P angewendet. Die Armatur H kann sich ein Stück bewegen, ehe sie die vor ihr angebrachte Kontaktfeder F_1 mitnimmt, welch letztere nunmehr den

Strom im Primärkreise plötzlich öffnet. Durch die Schraube S_1 kann die Dauer des Kontaktes reguliert werden; je weiter man die Schraube S_1 von dem Anschlagstück entfernt, um so länger ist die Zeit des Stromschlusses und um so plötzlicher erfolgt die Unterbrechung. Es ist damit ein Mittel in die Hand gegeben, um die Intensität der Entladung zu



Figur 128.

variieren, was besonders für Roentgenzwecke vom größten Wert ist, weil man so in einfachster Weise den Induktor dem Zustande der Röhre anpassen kann. Außerdem hat der Vril-Unterbrecher den Vorzug, daß sich die Platinkontaktstücke nur wenig erhitzen, nie kleben und sich weniger abnützen als bei den vorher beschriebenen Platin-Unterbrechern.



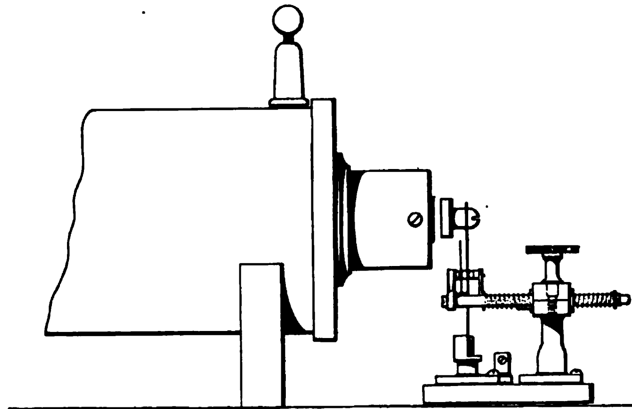
Figur 129.

Bei kleineren Induktoren oder wenn eine geringere Unterbrechungszahl gewünscht wird, kann die Schwingungszeit der Hammerfeder durch eine an einer Verlängerungsstange angebrachte verstellbare Kugel herabgesetzt werden, was kräftigere Entladungen zur Folge hat (Figur 128, Funkeninduktor 25 cm Schlagweite mit Vril-Unterbrecher von Dr. Max Levy in Berlin).

Eine andere Konstruktion, die hierher gehört, ist der atonische Unterbrecher von Carpentier, der in Figur 129 schematisch dargestellt ist. Er besteht aus dem Anker *P* aus weichem Eisen, der mittels Schraube *M* und Feder *R* gegen die in einem Elfenbeinstift endigende Schraube *B* gedrückt wird. Da *P*

und *R* parallel verlaufen, so tritt bei Anzichung des Ankers fast keine Spannungsänderung der Feder ein, so daß die Bewegungen des Ankers sehr schnell erfolgen. Die Kontaktgebung erfolgt zwischen den Platinkontakten *a* und *b*, von denen der erstere auf der Feder *L*, der letztere auf der Stellschraube *C* angeordnet ist. Die Einstellung des Unterbrechers bei Anziehung des Ankers erfolgt durch die beiden Stellschrauben *B* und *C* und die Kordelschraube *M*.

Eine andere Modifikation des Hammer-Unterbrechers ist der Platin-Unterbrecher mit regelbarer Geschwindigkeit der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft in Berlin. Die Variation der Frequenz wird hierbei durch eine Gegenfeder erzielt, die der Hammerfeder entgegenwirkt und deren Schwingung durch Veränderung ihrer Länge verändert werden kann. Auch dieser Unterbrecher ist nur für kleinere Induktoren verwendbar.



Figur 130.

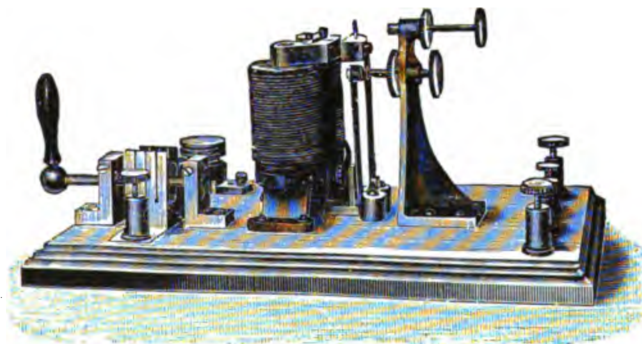
Eine allerdings wenig verbreitete Modifikation des einfachen Hammer-Unterbrechers ist der Platindoppelunterbrecher nach Dessauer*), den Figur 130 zeigt. Derselbe beruht auf folgender Tatsache: Stößt die schwingende Feder eines gewöhnlichen Hammerunterbrechers bei ihrem Vorschwingen nochmals gegen einen Kontakt und schließt dort den Strom abermals, so kann man bei geeigneter Dimensionierung der Feder erreichen, daß die Feder trotzdem in ihre Ruhelage zurückkehrt und dabei den Strom zum zweiten Male unterbricht. Die Unterbrechungszahl wird hierdurch verdoppelt. Die Einstellung des Unterbrechers geschieht automatisch mittels der Einklemmvorrichtung. Muß nämlich aus irgend einem Grunde der Unterbrecher neu eingestellt werden, so kommt es darauf an, daß die

*) Zeitschrift f. phys. u. chem. Unterricht XII. 2; Elektrotechn. Zeitschrift 899. Heft 12.

Schwingungsweite der Feder erhalten bleibt. Zu diesem Zweck ist seitlich am Unterbrecher eine Einsteckklinge angeordnet, die zwischen den beweglichen und ruhenden Kontakt gesteckt werden kann und deren Dicke genau der Schwingungsweite der Feder entspricht. Bei der Regulierung wird zunächst diese Klinge zwischen die Kontakte gebracht und dann mittels der Regulierschraube *K* die beiden festen Kontaktstücke gelöst. Diese pressen sich von vorn nach rückwärts an den beweglichen Kontakt und die Distanzklinge an, so daß der alte Abstand der ersten Einstellung wieder hergestellt ist. Mittels der Schraube *K* werden die ruhenden Kontakte fixiert, sodann die Klinge *m* durch Aufrechtstellen aus den Kontakten entfernt. Damit sind die ursprünglichen Betriebsverhältnisse wieder hergestellt.

Die Präzisions-Platin- oder Platin-Rapid-Unterbrecher werden zuweilen für größere Induktoren angewendet. Sie haben insofern eine Aehnlichkeit mit dem Vril-Unterbrecher, als das Abreißen des Kontaktes durch eine besondere, den Hammer tragende Feder erfolgt, so daß letztere bereits eine gewisse größere Geschwindigkeit hat, wenn das Abreißen erfolgt.

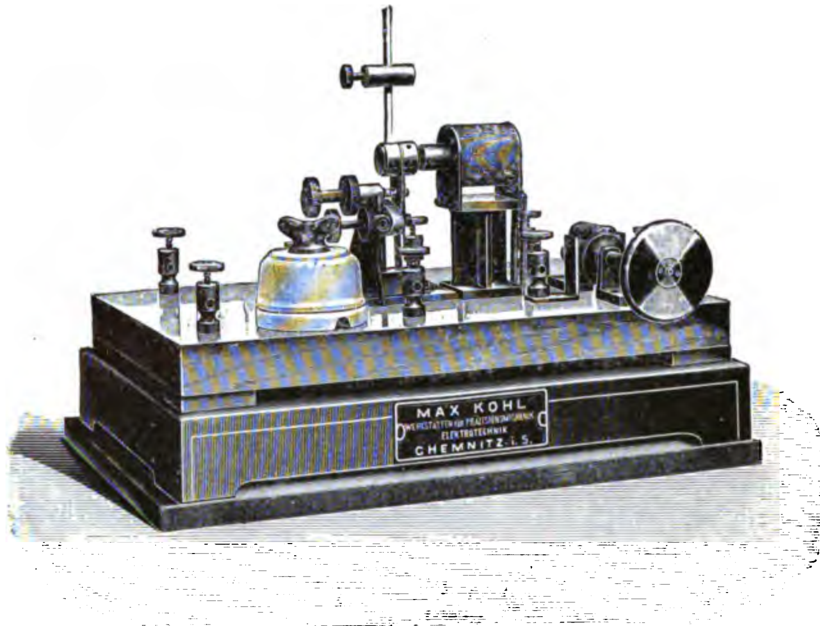
Figur 131 zeigt den von Dr. Max Levy in Berlin hergestellten Präzisions-Platin Unterbrecher, der in Verbindung mit einem Stromwender, Sicherung, Anschlußklemmen usw. als besonderer Apparat ausgebildet ist,



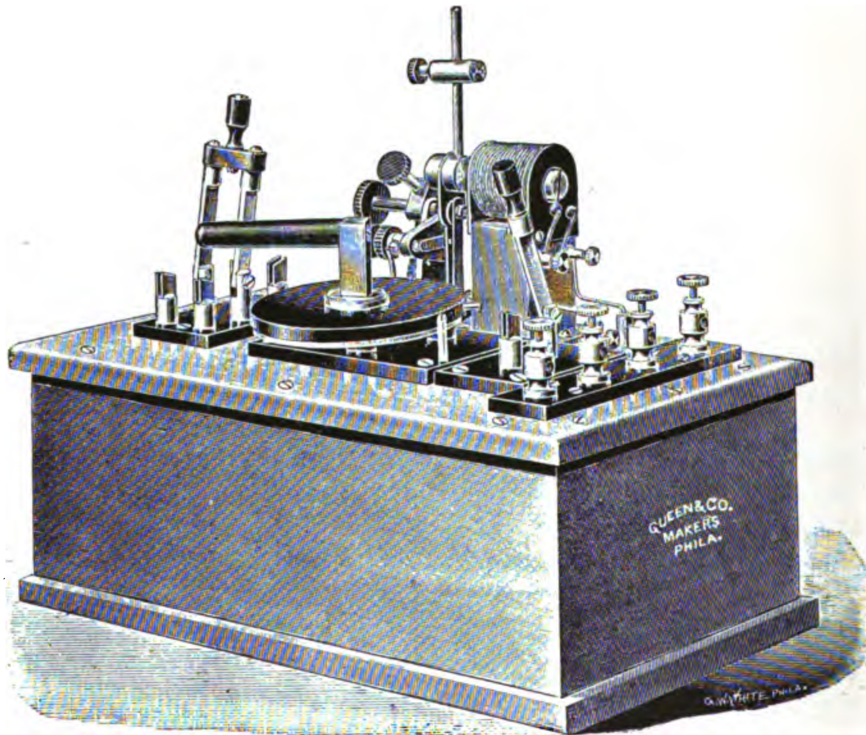
Figur 131.

so daß er zu jedem vorhandenen Induktorium paßt. Der Elektromagnet des Unterbrechers wird mit der Primärspule des Induktors hintereinander geschaltet.

Da bei höherer Spannung im Primärstrome die Platinkontakte leicht aneinander schweißen, so hat man die Bewegung des Hammers durch einen besonderen Elektromagneten und eine zur Speisung desselben dienende besondere Batterie erfolgen lassen. Letztere kann durch eine Abzweigung von der Betriebsleitung ersetzt werden.



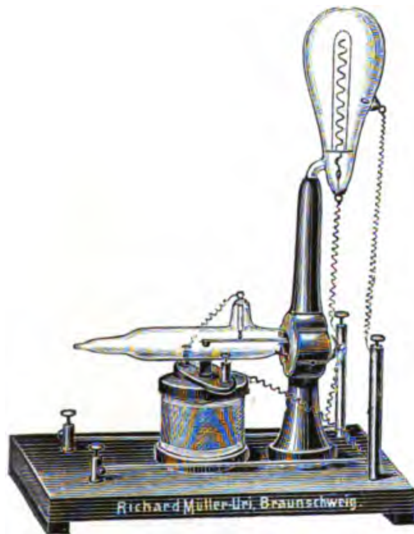
Figur 132.



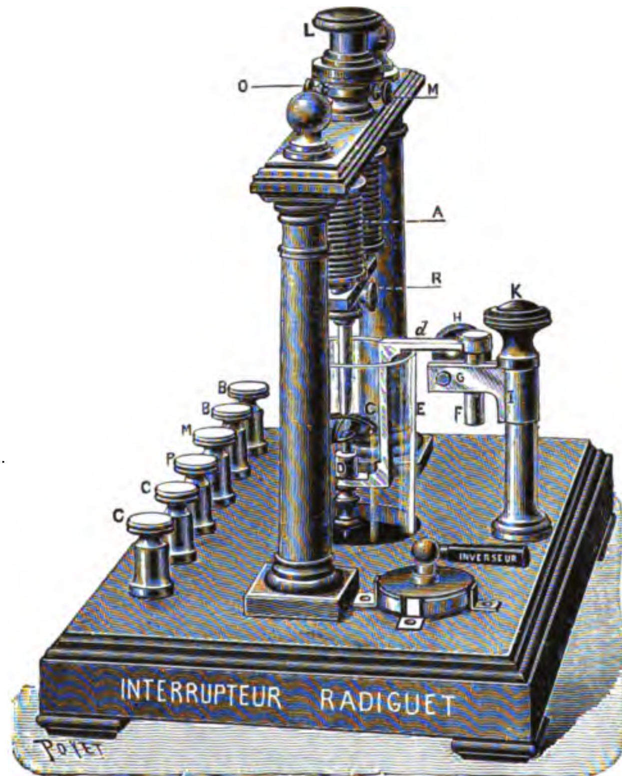
Figur 133.

Figur 132 stellt einen derartigen Platin-Rapid-Unterbrecher von Max Kohl in Chemnitz i. S. dar, Figur 133 einen ähnlichen von Queen & Co., Philadelphia, die noch für Induktoren bis zu 60 cm verwendbar sind.

Bei allen Platin-Unterbrechern ist eine Abnutzung der Kontakte unvermeidlich. Um ein gutes Funktionieren dieser Unterbrecher herbeizuführen, ist es nötig, die durch die Unterbrechungsfunken verbrannten Kontakte durch einige Feilstriche wieder in Ordnung zu bringen. Die neueren Unterbrecher sind zu diesem Zweck mit auswechselbaren Kontakten versehen.



Figur 134.



Figur 135.

Eine mehr interessante als praktisch brauchbare Form des Platin-Hammer-Unterbrechers ist die in Figur 134 abgebildete Konstruktion des Mac Farlan Moore'schen Vakuum-Vibrators. Der Hammer und Platinkontakt ist in einer evakuierten Glasröhre untergebracht, während sich der Elektromagnet außerhalb der Röhre befindet. Durch die Evakuierung soll die Bildung von Unterbrechungsfunken vermieden und damit ein Verbrennen der Kontakte ganz verhindert werden.*) Die Unterbrechungen

*) Poggendorff schlug bereits im Jahre 1855 vor, die Unterbrechungen im Vakuum erfolgen zu lassen.

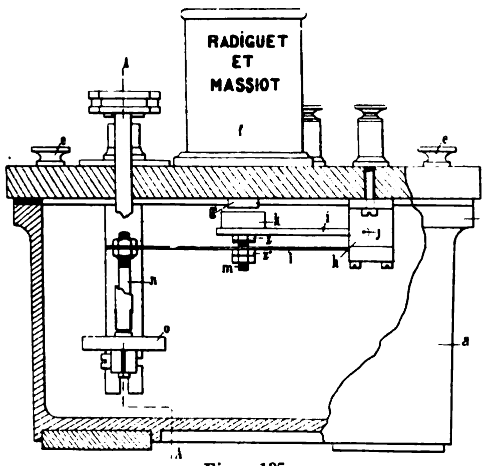
erfolgen tatsächlich so plötzlich, daß man gar keiner Sekundärspule bedarf, vielmehr den hochgespannten Extrastrom selbst zur Speisung von Geißlerröhren benutzen kann.

Die einfache Handhabung und der niedrige Preis haben den Platin-Unterbrechern eine große Verbreitung verschafft. Sie sind zweckmäßig beim Betriebe kleinerer Induktoren und bei Benutzung von Batterieen oder Akkumulatoren. Als Stromquelle für Roentgenzwecke kommt besonders der Deprez- und der Vril-Unterbrecher in Betracht; letzterer hat namentlich in England viel Anwendung gefunden.

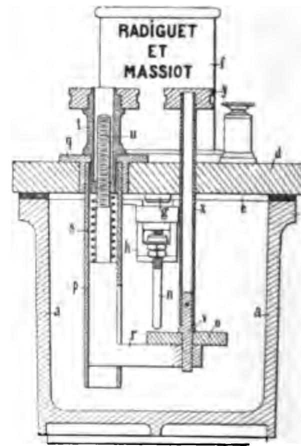
Ehe wir zu den Quecksilber-Unterbrechern übergehen, sei noch des von Radiguet konstruierten und von Radiguet et Massiot, Paris, in den Handel gebrachten Unterbrechers gedacht, bei dem die Unterbrechungen zwischen Kupferkontakten unter einer isolierenden Flüssigkeit stattfinden (Figur 135). Der obere Kontakt wird unter Zwischenschaltung der elliptischen Feder *C* von einem Elektromagneten getragen, der von dem Speisestrom des Induktors durchflossen wird. Die Einstellung erfolgt durch Verstellung des unteren Kontaktes *D*. Eine ähnliche Konstruktion weist der sogenannte „hermetische“ Unterbrecher (Figur 136) derselben Firma auf, den Figur 137 und 138 im Schnitt zeigen.



Figur 136.



Figur 137



Figur 138.

b) Quecksilber-Unterbrecher.

Da die Platin-Unterbrecher für hohe Stromstärken und Spannungen nicht gut anwendbar sind, insofern als die starken Unterbrechungsfunken die Kontakte zerstören und infolge des sich bildenden Lichtbogens eine exakte Unterbrechung des primären Stromes nicht stattfinden kann, ist man bald dazu übergegangen, die Unterbrechungen innerhalb eines isolierenden Mediums stattfinden zu lassen, um so den Luftzutritt zu den Kontakten auszuschließen.

Bei einem Teil dieser Konstruktionen wird der eine Kontakt aus ruhendem Quecksilber gebildet, während der andere Kontakt aus einem bewegten Metallstift besteht Je nach der Art und Weise, wie der Metallstift bewegt wird, unterscheidet man:

1. einfache Quecksilber-Unterbrecher,
2. Quecksilberwippen und
3. Motor-Quecksilber-Unterbrecher.

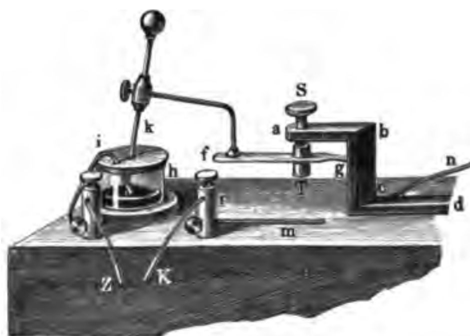
Ein anderer Teil dieser Konstruktionen benutzt das Quecksilber nur als stromschließendes Mittel zwischen einem feststehenden und einem rotierenden Metallkontakt:

4. Unterbrecher mit Gleitkontakten.

Schließlich gehören hierher:

5. Die Quecksilberstrahl-Unterbrecher, bei denen ein Quecksilberstrahl die Schließung und Unterbrechung des Stromes bewirkt, und
6. die Quecksilberring-Unterbrecher, bei denen ein Kontaktrad oder -stück in einen rotierenden Quecksilberring eintaucht.

1. Die einfachen Quecksilber-Unterbrecher werden meist von dem Eisenkern des Induktors selbst betätigt. Die älteste Form dieser Art ist der Stöhrer'sche Quecksilber-Interruptor, den Figur 139 zeigt.



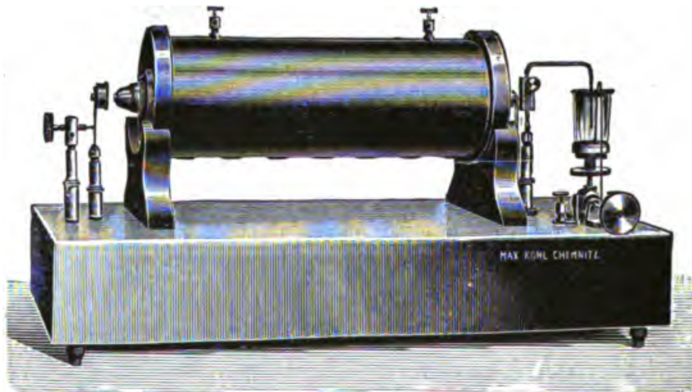
Figur 139.

Der horizontale Arm *cd* des zweimal rechtwinklig gebogenen Eisenstückes *abcd* erstreckt sich bis unter den Eisenkern des vertikal stehenden Induktors (vgl. Figur 45, S. 38). Wenn nun der Strom durch die primäre Spule geht und dadurch der Eisenkern magnetisch wird, so wird auch das Eisenstück *abcd* samt der unten etwas vorragenden eisernen Schraube *S* magnetisch. Die magnetische Schraube *S* zieht den eisernen Zylinder *T* an, welcher in dem federnden Messingstreifen *fg* befestigt ist.

Sobald der Strom unterbrochen wird, schnellt die Feder wieder zurück. Die Verlängerung der Feder trägt einen Draht *k*, an welchem oben eine Kugel befestigt ist und welcher unten in das Quecksilber des Glasgefäßes *h* eben eintaucht. Durch die Vibration der Feder *fg* wird der Draht *k* abwechselnd in das Quecksilber eingetaucht und herausgezogen. Durch den Draht *i* wird der Strom dem Quecksilber zugeführt, und wenn der Draht *k* in das (mit Weingeist bedeckte) Quecksilber eintaucht, so geht der Strom von *k* zur Feder *fg* und dem Eisenstück *abcd*, von welchem aus derselbe durch den Draht *n* in die primäre Wicklung eintritt. Nachdem er die Windungen derselben durchlaufen hat, wird er durch den Draht *m* der Klemmschraube *r* und von dieser dem anderen Pol der Batterie zugeführt.

In beifolgender Zeichnung sind der Einfachheit wegen die zum Kondensator führenden Kupferstreifen, sowie eine Vorrichtung zur Unterbrechung des Stromes weggelassen.

Eine neuere Anordnung eines einfachen Quecksilber-Unterbrechers, wie sie von Max Kohl in Chemnitz hergestellt und in den Handel gebracht wird, zeigt Figur 140.

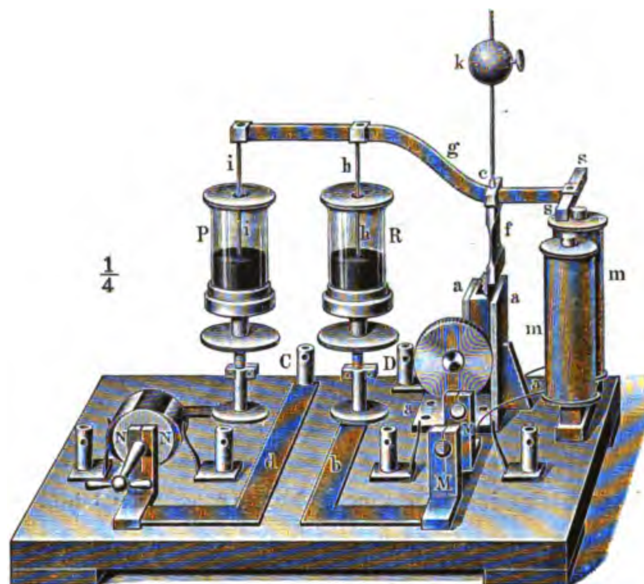


Figur 140.

Das in dem rechten Glasgefäß befindliche Quecksilber ist mit einer Schicht Petroleum oder Alkohol bedeckt, um die Funkenbildung zu verhindern und die Unterbrechung möglichst plötzlich und vollkommen zu machen. Beim Anziehen des Ankers hebt sich der Metalldraht aus dem Quecksilber heraus. Dieser Augenblick kann durch Höher- oder Tieferstellen des Gefäßes mit dem Quecksilber passend zur Stromschlußdauer gewählt werden. Auf der anderen Seite des Induktors ist außerdem ein Platin-Unterbrecher angebracht.

Man hat aber auch einfache Quecksilber-Unterbrecher mit besonderem Antrieb konstruiert. Figur 141 zeigt die älteste Konstruktion dieser Art, die von

Foucault (1856—1857) herrührt. Der Arm *g*, der von einer vertikalen Blattfeder *f* getragen wird, trägt einerseits den Weicheisenanker *s*, andererseits die Kontaktstifte *i* und *h*, die in je ein mit Quecksilber und Alkohol gefülltes Gefäß *P* bezw. *R* eintauchen. Der Kontakt *hR* dient lediglich zur Auf-

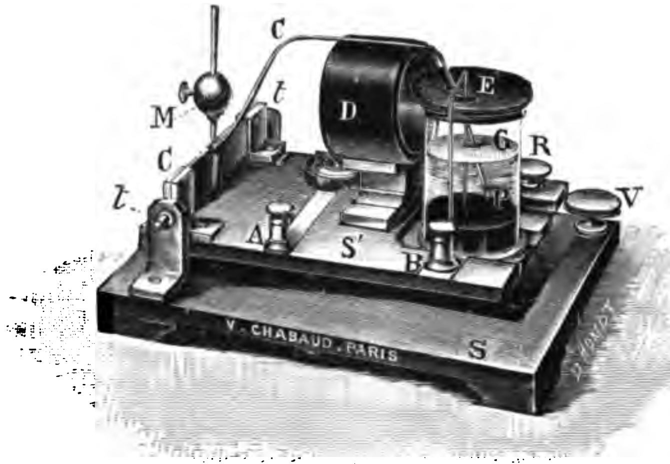


Figur 141.

rechterhaltung des Arbeitens des Unterbrechers und ist mit dem Elektromagneten *m* in einen gesonderten Stromkreis geschaltet. Zur Unterbrechung der Induktorströme dient der Kontakt *iP*. Das Laufgewicht *k* dient zur Veränderung der Unterbrechungszahl. Die Stromschlußdauer kann durch Höher- oder Tieferstellen des Quecksilbergefäßes *P* in weiten Grenzen variiert werden.

Ein anderer hierher gehöriger interessanter Unterbrecher ist derjenige von Villard, welcher von V. Chabaud in Paris angefertigt wird. Bei diesem wird die vibrierende Bewegung des ins Quecksilber eintauchenden Metallstiftes durch elektrodynamische Wirkung zwischen dem Strom und einem Stahlmagneten unterhalten. Bei dem kleinen Modell des Villard'schen Unterbrechers (Figur 142), das für etwa 20 Unterbrechungen in der Sekunde berechnet ist, ist ein Arm *C'* an einer beiderseits festgeklemmten Blattfeder *C* befestigt. Der Arm führt durch einen kleinen Spalt eines ringförmigen Magneten *D* und setzt sich in einem Nickeldraht fort, der in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß *E* eintaucht. Fließt nun der Strom in passender Richtung, so ist er infolge seiner auf den Magneten ausgeübten Wirkung bestrebt, den Arm emporzuheben, wodurch der Nickeldraht aus

dem Quecksilber gezogen und der Strom unterbrochen wird. Die Elastizität der Blattfeder bewirkt dann die Wiederherstellung des ursprünglichen



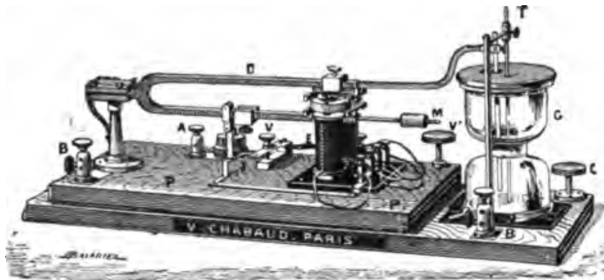
Figur 142.

Zustandes. Die Größe der Vibrationsausschläge kann man durch Drehen einer Schraube *t* und damit die Stromschlußdauer regulieren. Die Geschwindigkeit der Oszillationen läßt sich durch ein am schwingenden Arm verschiebbares Gewicht *M* verändern. Auf Grund dieser Anordnung läßt sich die Unterbrechung einer bestimmten Stromstärke entsprechend ziemlich genau regulieren, und es bedarf keiner anderweitigen Stromquelle zur Unterhaltung der Vibrationen.

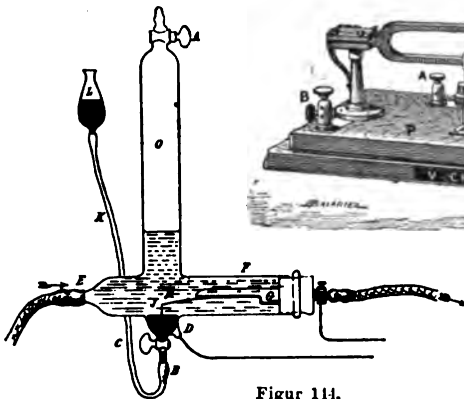
Das große Modell (Figur 143) des Villard'schen Unterbrechers beruht auf dem gleichen Prinzip, ist aber für schnellere Unterbrechungen bestimmt. Die Blattfeder ist hier durch eine Stimmgabel ersetzt. Durch Drehung eines Griffes um 180 wird gleichzeitig der Stromkreis geschlossen und die Stimmgabel in Tätigkeit gesetzt. Um Unregelmäßigkeiten der Unterbrechungen infolge Deformation der Quecksilberoberfläche zu vermeiden, weist das Gefäß eine Einschnürung an der Stelle auf, bis zu der es mit Quecksilber gefüllt werden soll.

Die Bewegung des Kontaktstiftes erfolgte bei den bisher beschriebenen einfachen Quecksilber-Unterbrechern auf elektromagnetischem beziehungsweise elektrodynamischem Wege. Dieselbe kann natürlich auch auf andere Weise bewirkt werden. Ein Beispiel hierfür bietet der Grimsehl'sche Quecksilber-Unterbrecher, bei welchem die Bewegung durch Anblasen einer Zungenpfeife mittels strömenden Wassers erfolgt. Der Unterbrecher besteht aus einem kreuzförmigen Glasrohr (Fig. 144), dessen oberer Schenkel *O* durch einen Hahn verschlossen ist.

Der untere kurze Schenkel hat an seinem unteren Ende einen Schlauchansatz *B*, der ebenfalls durch einen Hahn geschlossen werden kann, Außerdem ist an diesem Schenkel ein seitlicher Ansatz *D* angebracht. durch welchen ein Stromzuleitungsdraht in das in diesem Schenkel befindliche Quecksilber führt. In dem horizontalen Schenkel des Glasrohres ist mittels Stopfens eine Zungenpfeife *G* eingeführt, deren verlängerte Zunge *H* einen Platinstift *J* trägt, der in das Quecksilber im unteren Schenkel etwas eintaucht. Wird nun durch einen aufgesteckten Gummi-



Figur 143.



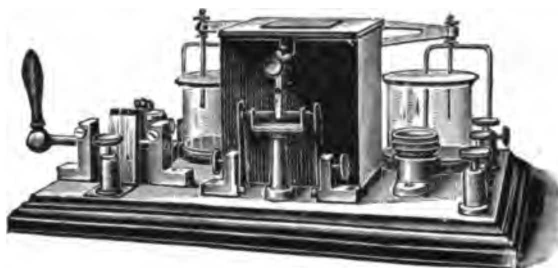
Figur 144.

schlauch der eine Schenkel *E* mit der Wasserleitung verbunden, so fließt bei schwacher Zuleitung das Wasser ohne weiteres durch die Pfeife ab, bei stärkerer Zuleitung aber wird mehr Wasser zugeführt als abfließen kann, es steigt das Wasser in den oberen Schenkel der Glasröhre und komprimiert die darin befindliche Luft. Alsbald fängt die Zungenpfeife an zu tönen. Man kann auf diese Weise die Unterbrechungszahl leicht auf 100 Schwingungen pro Sekunde bringen.

Durch das beständig zu- und abfließende Wasser wird die Kontaktstelle immer kühl gehalten, so daß eine merkliche Abnutzung nicht vorhanden ist; außerdem werden die bei der Unterbrechung losgerissenen und teilweise oxydierten Quecksilberteilchen immer gleich fortgespült, so daß die Quecksilberoberfläche stets metallisch rein bleibt. Das Niveau des Quecksilbers kann während des Betriebes durch Heben und Senken der Quecksilberflasche *L* reguliert werden.

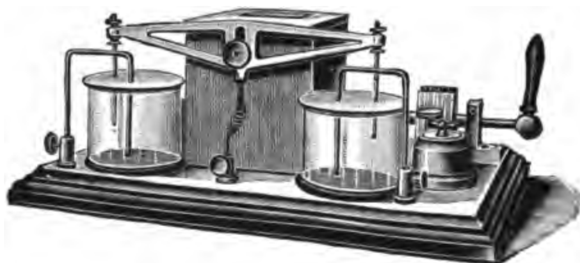
Die einfachen Quecksilber-Unterbrecher haben mit den im folgenden beschriebenen Unterbrechern den Vorteil gemein, daß die Stromschlußdauer gegen die Unterbrechungsdauer verhältnismäßig groß ist, so daß die Stromstärke bis zu ihrem vollen Wert ansteigen kann, ehe die Unter-

brechung eintritt; doch besitzen sie den Nachteil geringer Frequenz: ca. 15 bis 30 Unterbrechungen in der Sekunde. Um die Unterbrechungszahl zu erhöhen, sind zahlreiche Konstruktionen erfunden worden, deren hauptsächlichste wir im folgenden kennen lernen werden. Derartige Unterbrecher, die meist für größere Induktoren bestimmt und zum Teil recht kompliziert sind, hat man zusammen mit den erforderlichen Anschlußklemmen, dem Stromwender, einer Sicherung und dem Ausschalter als einen besonderen Apparat ausgebildet.



Figur 145.

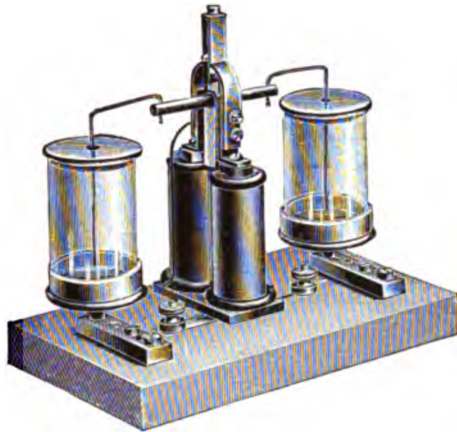
2. Bei den Quecksilberwippen hat man durch Anordnung zweier Quecksilbergefäße die Unterbrechungszahl verdoppelt. Figur 145 und 146 zeigt eine solche Quecksilberdoppelwippe von Dr. Max Levy in Berlin.



Figur 146.

Der Elektromagnet befindet sich in einem Holzkasten; die an einem zweiarmigen Hebel befestigten Kontaktstifte tauchen abwechselnd in die beiden Quecksilbergefäße. Die Unterbrechungszahl und das gleichmäßige Eintauchen der Stifte kann durch die in Fig. 145 sichtbaren Kontaktfedern reguliert werden. Der Unterbrecher wird mit dem Induktor hintereinander geschaltet, bedarf also keiner besonderen Stromquelle.

Die Quecksilberwippe von Siemens & Halske in Berlin ist der vorigen ähnlich konstruiert (Figur 147). Bei dieser vibriert ein kleiner Eisenanker zwischen den Polen eines Elektromagneten normal zu den Kraftlinien desselben. Der Anker stößt in seinen äußersten Stellungen


Figur 147.

gegen Platinkontakte, wodurch der Stromschluß für den Elektromagneten herbeigeführt wird. Dieser Unterbrecher bedarf zur Ingangsetzung eines Anstoßes und wird von einer besonderen Stromquelle (4 Trockenelemente!) gespeist.

Die Unterbrechungen des Induktorstromes erfolgen in den neben dem Elektromagneten angeordneten Quecksilber enthaltenden Gefäßen, in welches die mit dem schwingenden Anker verbundenen Kontaktstifte abwechselnd eintauchen.

3. Für größere Induktoren eignen sich besser die Motor-Quecksilber-Unterbrecher, denen wir uns nunmehr zuwenden. Bei diesen wird ein vertikaler, geradegeführter Kontaktstift durch einen kleinen Elektromotor, der von einer besonderen Stromquelle oder vom Leitungsnetz gespeist wird, abwechselnd ins Quecksilber getaucht und aus demselben herausgezogen. Es ist wichtig, daß der Kontaktstift genau vertikal bewegt wird, weil sonst die Quecksilberoberfläche leicht unruhig wird, wodurch die Unterbrechungen unscharf werden würden.

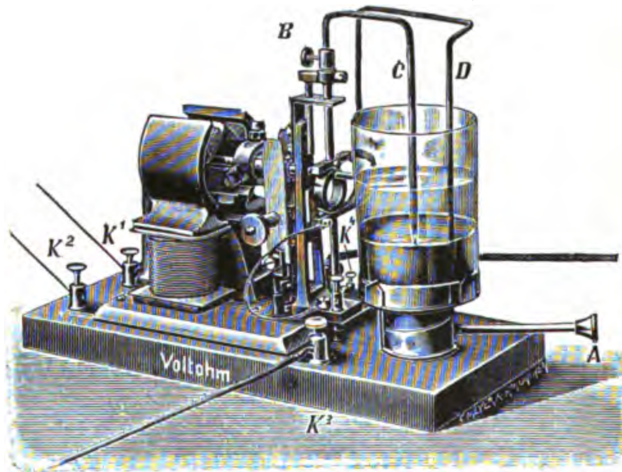

Figur 148.

In Figur 148 ist der Motor-Quecksilber-Unterbrecher von Dr. Max Levy in Berlin abgebildet. Ein kleiner Elektromotor trägt auf seiner Achse eine kleine, mit einem exzentrischen Stift versehene Metall-

scheibe. Der Stift bewegt sich in einer Kulisse, so daß dem damit verbundenen Kontaktstift eine vertikale auf- und niedergehende Bewegung erteilt wird. Die Stromzuführung zum beweglichen Kontaktstift erfolgt durch eine spiralig gewundene Kupferlitze, während dem Quecksilber der Strom durch einen gebogenen Kupferdraht von oben her zugeführt wird. Die über dem Motor angebrachte Glühlampe dient als Vorschaltwiderstand. Beim Antrieb dieses Unterbrechers durch eine besondere kleine Batterie wird an die Stelle der Lampe eine Bleisicherung gesetzt. Die Einstellung des Kontaktstiftes wird durch die am Glase angebrachten Marken, die den Stand des Quecksilbers und der darüber stehenden Flüssigkeit angeben, sehr erleichtert.

Da die bewegliche, stromführende Kupferlitze bei der schnellen Bewegung stark umherfliegt und leicht bricht, ist bei einer anderen Ausführungsform derselben Firma die Stromzuführung zum Kontaktstift durch ein kleines Standglas bewirkt, in welches Quecksilber so hoch eingefüllt wird, daß der dort eintauchende, mit dem Kontaktstift leitend verbundene Stromleitungsbügel bei seiner Aufwärtsbewegung nicht aus dem Quecksilber herauskommt.

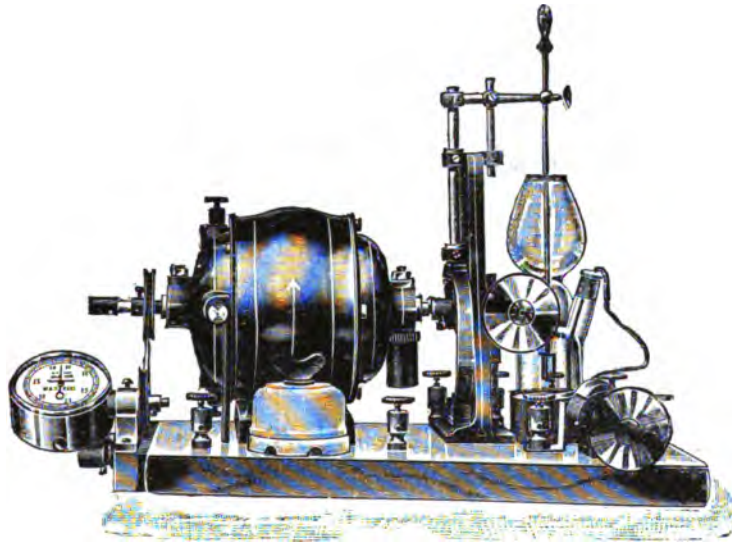
Recht zierlich ist der Motor-Quecksilber-Unterbrecher der Voltohm-Gesellschaft in Frankfurt a. M. (Figur 149), welcher leicht als Ersatz eines Platin-Unterbrechers genommen werden kann. Die Klemmen K_1, K



Figur 149.

dienen zum Anschluß des Motors an die Stromquelle, während die Klemmen K_3, K_4 mit den Säulen des abgenommenen Platin-Unterbrechers verbunden werden.

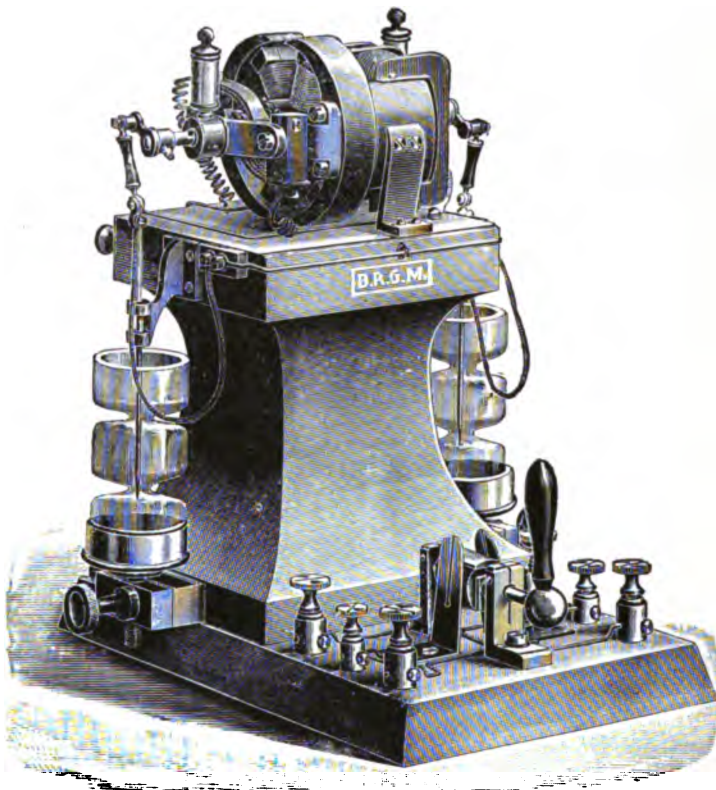
Der Motor-Quecksilber-Unterbrecher mit Tauchkontakt von Max Kohl in Chemnitz besteht aus einem kleinen Elektromotor, der mittels einer Exzenterscheibe einen Platinstift schnell in ein teilweise mit Quecksilber gefülltes, eigentümlich geformtes Glasgefäß eintaucht resp. herauszieht (vergl. Figur 150). Auf der Grundplatte von Schiefer sind außer dem Motor und dem Quecksilbergefäß zwei Anschlußklemmen, ein Ausschalter für den Motor, zwei Anschlußklemmen für den Induktor und ein Stromwender angebracht. Zwei Klemmen dienen zur Verbindung mit den entsprechenden Klemmen der Primärspule, zwei fernere zur Verbindung mit dem Kondensator. Die Konstruktion des Unterbrechers ist mit Rücksicht darauf durchgeführt, daß möglichst wenige der Abnutzung unterworfene Teile vorhanden sind. Der Elektromotor hat vollständig geschlossene Bauart und Kohlenbürsten, er läuft fast geräuschlos. Die stählerne Achse läuft in stählernen Lagerbuchsen. Alle bewegten Teile sind



Figur 150

aus Stahl und zum Teil gehärtet. Das Quecksilbergefäß läßt sich während des Betriebes hoch und tief stellen. Die Anzahl der Umdrehungen bezw. Unterbrechungen ist an dem Tachometer abzulesen. Der Kontaktstift ist mit drei Spitzen versehen, um die Funkenbildung auf ein Minimum herabzusetzen. In das Quecksilbergefäß wird etwa 2 cm hoch Quecksilber, und darüber bis zur Mitte der Kugel Petroleum gegossen. Der Platinstift kann ausgewechselt werden. Um eine schädliche Amalgambildung zu vermeiden, soll der Kontaktstift während der Nichtbenutzung herausgezogen werden.

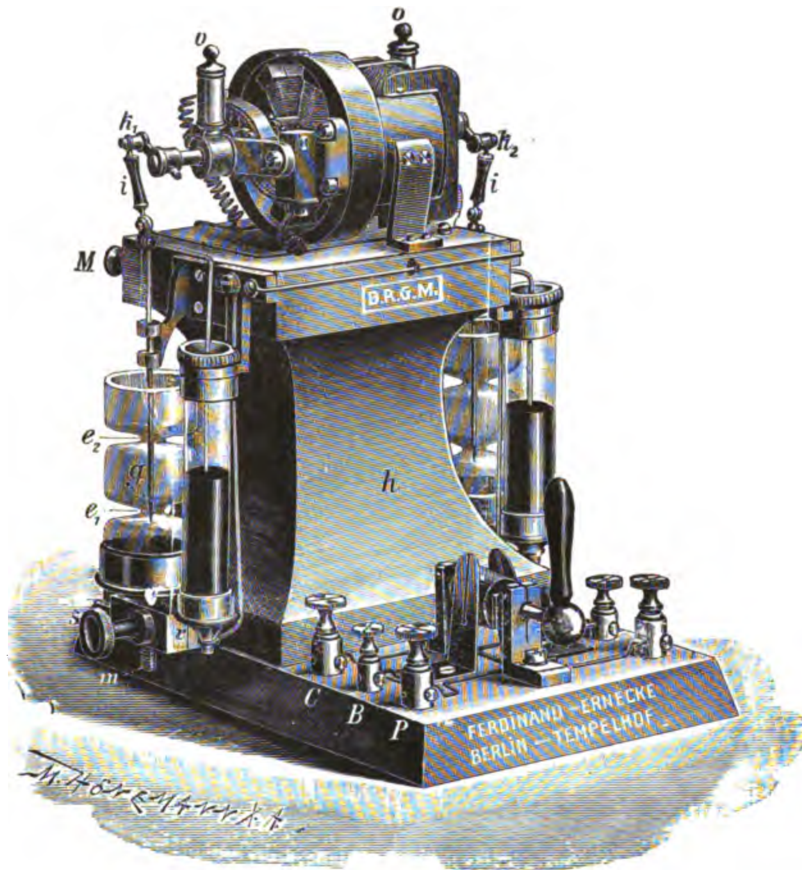
Die bei den bisher beschriebenen Motor-Quecksilber-Unterbrechern zu erzielende Unterbrechungszahl von 25 bis 30 pro Sekunde läßt sich durch Anwendung eines Doppelkontaktes leicht verdoppeln. Eine derartige Konstruktion (Figur 151) wird von Ferdinand Ernecke in Berlin ausgeführt. Ein präzis gearbeiteter, gleichmäßig laufender Elektromotor trägt an beiden Enden seiner Achse um 180° gegeneinander versetzte Kurbeln, welche je einen Kupferstift auf- und abbewegen und zum abwechselnden



Figur 151.

Eintauchen in die Quecksilbergefäße bringen. Dadurch wird also bei jeder Umdrehung des Motors der Strom zweimal geschlossen bezw. unterbrochen. Wünscht man die höhere Frequenz nicht, so kann man den Motor langsamer laufen lassen und hat alsdann mindestens den Vorteil, daß die Zeit jedes Stromschlusses eine längere wird. Zwei seitlich angebrachte Klemmen vermitteln die Stromzuführung zum Motor, während auf dem Grundbett die Anschlußvorrichtung, bestehend aus sechs Klemmen und einem Stromwender, montiert ist. Die vorderen Klemmen werden

mit der primären Spule des zu betreibenden Induktors, die mittleren Klemmen mit dem Kondensator desselben und die hinteren Klemmen mit der den Induktor speisenden Stromquelle (Batterie) verbunden. Zwecks Füllung der Quecksilbergefäße bringt man die unteren Spitzen der Kontaktstifte auf gleiche Höhe, was durch Einstellen der Motorkurbeln in die



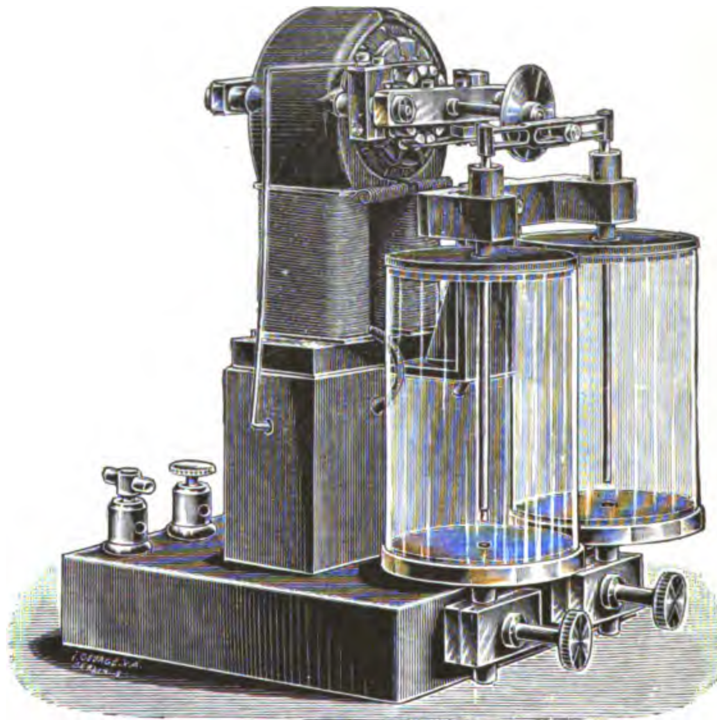
Figur 152.

Horizontale geschieht. Dann wird in beide Gefäße so viel Quecksilber gegossen, daß dessen Oberfläche bis zur Mitte der unteren Einschnürung steht. Nunmehr werden die Quecksilbergefäße so in der Höhe verstellt, daß die Spitzen der Kontaktstifte 3 bis 4 mm über dem Quecksilberniveau stehen. Hierauf wird auf das Quecksilber so viel Petroleum gegossen, daß es bis zur Marke am Mittelgefäß steht.

Das Entleeren der Quecksilbergefäße erfolgt in der Weise, daß man zuerst die über dem betreffenden Gefäß befindliche Kurbel in ihre höchste

Lage dreht, dann die untere große Kordelschraube vollständig herausschraubt, die Messingplatte abnimmt und, während man das Glasgefäß etwas gegen den Holzblock neigt und den Gewindestift aus der Fassung der halben Schraubenmutter herausnimmt, das Quecksilbergefäß schräg nach unten fortzieht. Das Einsetzen erfolgt in genau umgekehrter Weise. Nach Inbetriebsetzung des Apparates müssen die Gefäße passend eingestellt werden. Stehen die Gefäße zu hoch, so kann es vorkommen, daß man gar keine Unterbrechungen erhält, weil, ehe noch der eine Stift das Quecksilber verlassen hat, der andere Kontaktstift bereits eintaucht. Jede Aenderung der Umlaufgeschwindigkeit des Motors hat eine Aenderung in der Höhenstellung der Quecksilbergefäße zur notwendigen Folge. Im allgemeinen müssen die Gefäße um so höher stehen, je schneller der Motor läuft.

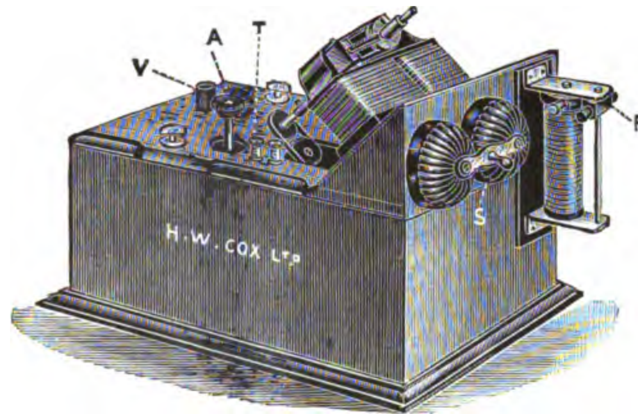
Bei einer neueren Konstruktion, die Figur 152 zeigt, ist an Stelle der Stromzuführung mittels biegsamen Leiters eine solche mittels eines ebenfalls bewegten dauernd in Quecksilber tauchenden Kontaktes hergestellt.



Figur 153.

Die Figur 153 zeigt einen ähnlichen Doppel-Kontakt-Motor-Quecksilber-Unterbrecher der Firma Keiser & Schmidt in Berlin.

Eine besondere Stellung nimmt der Motor-Quecksilberunterbrecher von Mackenzie Davidson (Figur 154), der von H. W. Cox in London in den Handel gebracht wird, ein. Bei diesem ist die Achse des schräg gestellten Motors verlängert und treibt eine normal zur Achse befestigte Scheibe mit Kontaktstücken an, derart, daß dieselben nacheinander in das

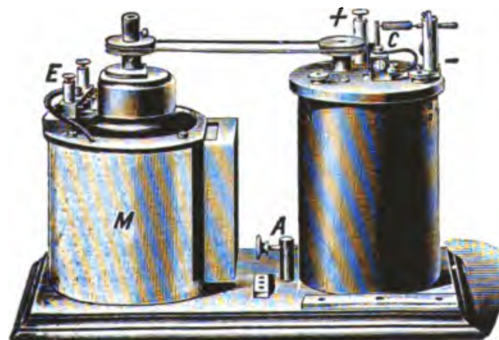


Figur 154.

am Boden befindliche, mit Paraffinöl bedeckte Quecksilber eintauchen. Der Unterbrecher ist mit einem kleinen Regulierwiderstande *R* für den Motor und mit zwei gekuppelten Ausschaltern *S* für den Motor- und Induktorstromkreis ausgestattet. Aehnlich konstruiert ist der Johnston-Unterbrecher der Firma Queen & Co., Philadelphia.

Eine besondere Gruppe der Motor-Quecksilber-Unterbrecher bilden die rotierenden

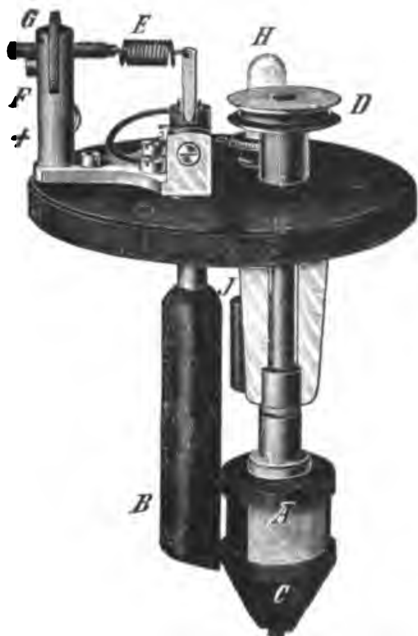
4. Unterbrecher mit Gleitkontakten. Bei diesen wird Quecksilber nicht als stromschließendes Mittel, sondern nur zum Amalgamieren zweier zum Stromschluß dienenden Kupferflächen benutzt, von denen die eine um eine vertikale Achse rotiert. Diese amalgamierten Kupferflächen, die stets mit neuen Quecksilbermengen in Berührung kommen, sichern einen durchaus regelmäßigen Stromschluß und ebensolche Unterbrechungen.



Figur 155.

Figur 155 stellt eine der ältesten Konstruktionen eines Unterbrechers dieser Art der

früheren Firma W. A. Hirschmann (jetzt Reiniger, Gebbert & Schall A.-G.) in Berlin in Totalansicht dar, während Figur 156 die Hauptteile in vergrößertem Maßstabe erkennen läßt. Das Unterbrechergefäß enthält am Boden Quecksilber, über welchem sich eine Schicht Alkohol befindet. Wird die Achse *D* mittels des Schnurrades vom Elektromotor *M* in Rotation versetzt, so kommt bei jeder Umdrehung der feststehende Kontaktkörper *B* mit den rotierenden Kontaktflächen *A* während einer Viertelumdrehung in Berührung, während der zwischen den rotierenden Kupferflächen liegende Ausschnitt den Strom unterbricht. Je nach der Umdrehungsgeschwindigkeit des Motors lassen sich bis 60 Unterbrechungen in der Sekunde erzielen. Durch Verwendung eines solchen rotierenden Unterbrechers ist es möglich, die höchsten zulässigen Stromstärken zu verwenden und dabei doch absolut gleichmäßige, von keinen Zufälligkeiten im Quecksilber-Kontakt abhängige Unterbrechungen zu erzielen. Die Rotationsachse ist im Gefäß exzentrisch angeordnet, um so die Mitrotation der Flüssigkeiten und die mit ihr zusammenhängende Trichterbildung, welche zu Explosionen führen würde, zu vermeiden. Den Stand der Alkoholmenge zeigt ein Schwimmer an, dessen Zeiger und Marke sich in dem Glaszylinder *H* befindet; bei zu niedrigem Stande muß Alkohol nachgefüllt werden.

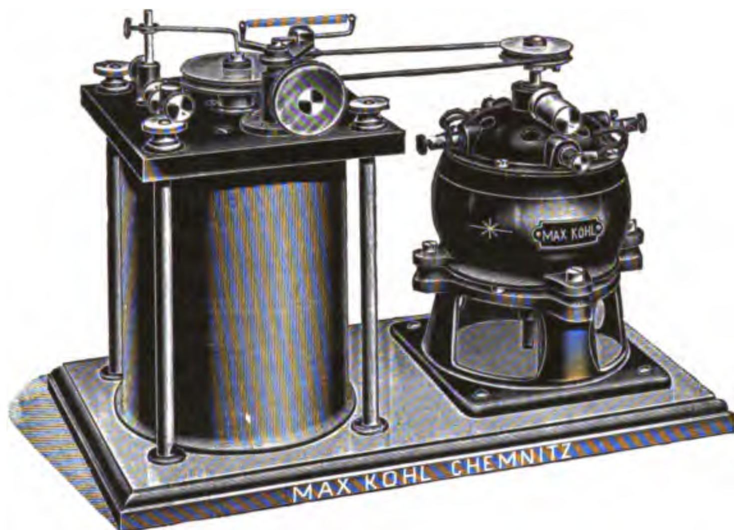


Figur 156.

Auf einem ähnlichen Prinzip basiert der Kontakt-Trommel-Unterbrecher mit Bürstenkontakt von Max Kohl in Chemnitz. Wie aus den Figuren 157-158 ersichtlich ist, besteht derselbe aus dem eigentlichen Unterbrecher und einem zum Antrieb dienenden Gleichstrommotor mit senkrecht stehender Achse, die beide auf einer gemeinschaftlichen Grundplatte montiert sind. Der Motor hat ein vollständig geschlossenes Gehäuse, ist mit Kohlebürsten ausgerüstet und sein Gang völlig geräuschlos; er wird für verschiedene Spannungen geliefert. Der Energieverbrauch beträgt nur 60 Watt. Durch einen Stromregulator, den man zwischen die

Stromwelle und den Elektromotor einschaltet, läßt sich die Umdrehungszahl des Unterbrechers in weiten Grenzen variieren.

Der Unterbrecher selbst besteht aus einem zylindrischen, gußeisernen Gefäß, das durch eine Schieferplatte abgedeckt wird. Diese wird an ihren vier Ecken durch Schrauben festgehalten. In der Mitte wird sie durch die senkrechte Hauptwelle durchsetzt, die in einem Kugellager läuft. An ihrem oberen Ende trägt diese Welle zwei Schnurscheiben, von denen die eine zur Bewegungsübertragung vom Motor aus, die andere zu der weiter unten beschriebenen Quecksilber-Hebevorrichtung dient. An ihrem unteren Ende trägt die Welle eine Trommel von Stabilit, an der zwei nach unten zungenförmig zugespitzte, aus amalgamiertem Kupfer bestehende Kontaktstücke so befestigt sind, daß sie mit der Welle in leitender Verbindung stehen. Auf der Trommel schleift eine Kupferbürste, die an

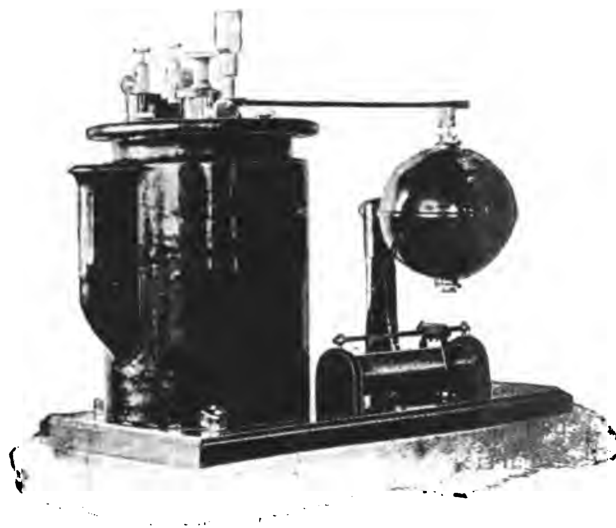


Figur 157.



Figur 158.

einem Hohlzylinder befestigt ist. Dieser durchsetzt den Schieferdeckel des Unterbrechers und eine darauf befestigte Hülse; mittels Triebes läßt er sich hoch und tief stellen, um die Dauer des Kontaktes verändern zu können. Um einen möglichst guten Kontakt zu erzielen, wird die Bürste durch eine regulierbare Feder an die Trommel angedrückt, außerdem fortwährend Quecksilber an die Kontaktstelle gepumpt. Zu diesem Zweck ist die Bürste in ihrer ganzen Länge so durchbohrt, daß eine Verbindung mit dem Innern des Zylinders an dem sie befestigt ist, besteht. In dem Zylinder aber befindet sich eine genau passende Schnecke, die an ihrer Spindel eine Schnurscheibe trägt und von der Hauptwelle aus angetrieben wird. Da das untere Ende des Zylinders in den tiefsten Teil des mit einem schrägen Boden versehenen Unterbrechergefäßes hineinragt und sich dort Quecksilber befindet, so wird letzteres durch die Schnecke in die Höhe gepumpt und gelangt durch die Durchbohrungen der Bürste zu der Kontaktstelle. Die eine Stromzuleitungsklemme ist direkt an dem gußeisernen Gehäuse angebracht. Der Strom gelangt vom Gehäuse zum Quecksilber und über die Kupferbürste zum Kontaktstück und zur Hauptwelle. Letztere ist an ihrem oberen Ende tief gekörnt; diese Vertiefung ist mit Quecksilber angefüllt, in welches ein Kupferdrahtbügel hineinragt, der zur zweiten, auf der Schieferplatte angebrachten Klemme führt. Zur Füllung des Unterbrechers sind 1 kg Quecksilber und $1^1/_2$ Liter Petroleum erforderlich. Bei zwei vorhandenen Kontaktstücken beträgt die maximale Unterbrechungszahl 45 in der Sekunde.



Figur 159

Zur gleichen Kategorie gehören auch die Unterbrecher mit rotierendem Gleitkontakt von **Klingelfuß** & Co., Basel (Figur 159) und **Reiniger, Gebbert** & **Schall** in Erlangen.

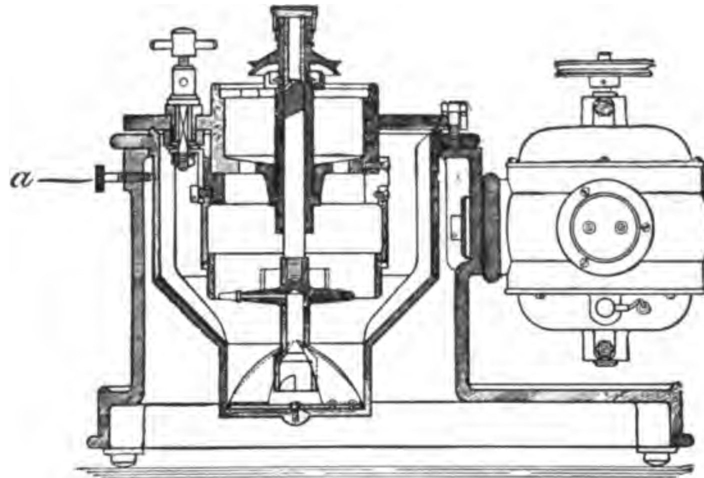
Bei letzterem wird an Stelle von flüssigem Quecksilber ein festes Amalgam benutzt.

Die Motor-Quecksilber-Unterbrecher gestatten die Anwendung viel größerer Stromstärken als die Platinkontakt-Unterbrecher, sie sind daher für größere Induktoren (30—50 cm Funkenlänge) sehr gut verwendbar. Neben einer leichten Regulierbarkeit der Stromschlußdauer haben sie vor den einfachen Quecksilber-Unterbrechern den Vorzug der größeren Frequenz (bis zu 60 in der Sekunde) und der leichteren Variation der Unterbrechungszahl. Dagegen besitzen sie den Nachteil der meisten unabhängig vom Induktor betätigten Unterbrecher, daß stets erst der Unterbrecher in Gang gesetzt werden muß, ehe der Hauptstrom durch den Einschalter oder durch Umlegen des Stromwenders geschlossen wird. Ebenso muß umgekehrt beim Oeffnen des Stromes erst der Hauptstrom unterbrochen sein, ehe der Motor ausgeschaltet wird, andernfalls kann es leicht vorkommen, daß der Kontakt im Unterbrecher geschlossen stehen bleibt und ein sehr starker Strom Batterie, bezw. das Netz und die Primärspule des Induktors gefährdet (Kurzschluß!). Weiter gibt besonders bei höherer Frequenz die Wellenbildung der Quecksilberoberfläche zu Störungen bezüglich der Exaktheit der Unterbrechung Anlaß; aus diesem Grunde sind die im folgenden beschriebenen Quecksilber-Strahl- bezw. Ring-Unterbrecher vorzuziehen, zumal diese geeignet sind, bedeutend größere Energiemengen bei noch viel höherer Frequenz absolut exakt zu unterbrechen.

5. Die ältesten Konstruktionen von Quecksilberstrahl-Unterbrechern rühren von Nicola Tesla her*), dieselben sind in Europa jedoch ziemlich unbekannt geblieben. Große Verbreitung fand dagegen der von Hans Boas konstruierte sogenannte Turbinen-Unterbrecher der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft in Berlin. Bei demselben (Figur 160 und 161) wird mittels einer an vertikaler Achse befestigten kleinen Turbine Quecksilber vom Boden eines gußeisernen Behälters angesaugt und in Form eines feinen Strahles aus einer Düse zentrifugal herausgeschleudert. Dieser Quecksilberstrahl trifft auf einen mit Aussparungen versehenen Metallring. Hierdurch wird der Strom abwechselnd geschlossen und unterbrochen. Je nach der Zahl der Umdrehungen der Turbine und der Zahl der Aussparungen im konzentrischen Kontaktringe läßt sich die Zahl der Unterbrechungen bis auf mehrere Hundert in der Sekunde steigern. Das (etwa 2000 g betragende) Quecksilber ist mit (etwa 1400 g) Alkohol so hoch bedeckt, daß sich die rotierende Düse noch unterhalb der Flüssigkeit befindet. Die beiden schraubenförmigen Flügel, die in der Abbildung

*) Electrical World, 20. Aug. 1898.

(Figur 160) zu erkennen sind, haben den Zweck, die Quecksilbermasse am Mitrotieren zu hindern, weil sonst der Turbine das anzusaugende Quecksilber entzogen würde. Eine unmittelbare Folge des bei diesem



Figur 160.

Unterbrecher angewendeten Prinzips ist die, daß das beabsichtigte oder zufällige Anhalten der Turbine ein sofortiges Oeffnen des Stromkreises bewirkt. Es ist daher zulässig, daß der Speisestrom des Induktors am Ausschalter eher geschlossen wird, als wie die Turbine in Rotation gesetzt



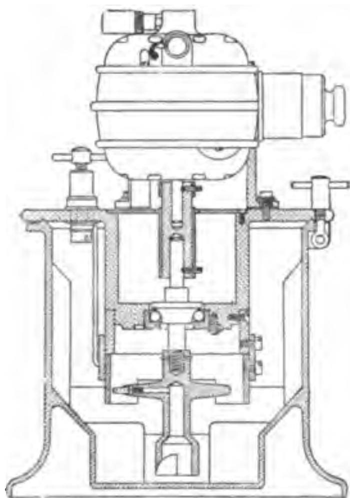
Figur 161.



Figur 162.

wurde. Der Apparat wird in der Regel so ausgeführt, daß bei normaler Tourenzahl ungefähr 100 Unterbrechungen in der Sekunde stattfinden. Durch Auswechselung der Kontaktringe (vergl. Figur 162) kann die Unterbrechungszahl variiert werden.

Ein kleineres Modell desselben Unterbrechers, bei dem Motor- und Unterbrecherachse direkt gekuppelt sind, zeigen die Figuren 163 und 164.



Figur 163.



Figur 164.

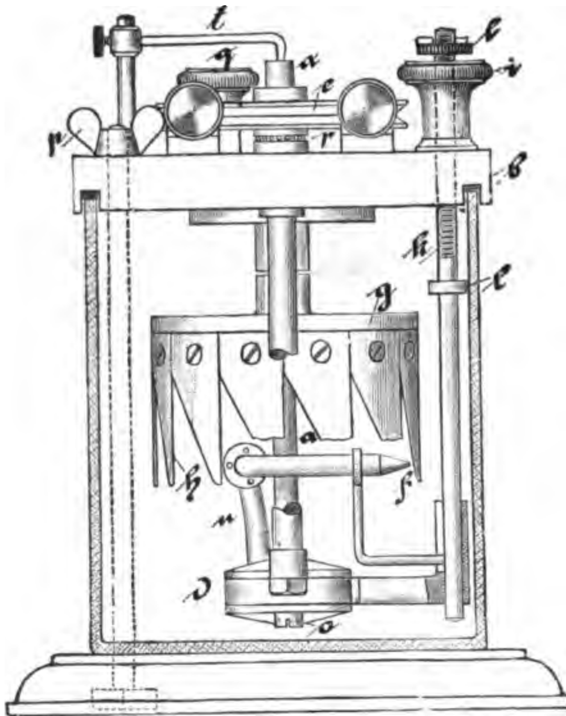
Zur Füllung dieses Modells sind 700 g (850 ccm) Alkohol und 3500 g (260 ccm) Quecksilber erforderlich.

Gleichsam die Umkehrung des Boas'schen Turbinen-Unterbrechers ist der Levy'sche Quecksilberstrahl-Unterbrecher (vergl. Figur 165 bis 167). Bei ihm wird ein stillstehender Quecksilberstrahl gegen einen rotierenden zylindrischen Metallzylinder, der mit Ausschnitten versehen ist, geschleudert. Der Strahl wird durch eine mit der Hauptwelle verbundene Kapselräderpumpe *d* erzeugt, spritzt aus der Düse *f* gegen den Kontaktkranz *g* mit den daran befestigten,

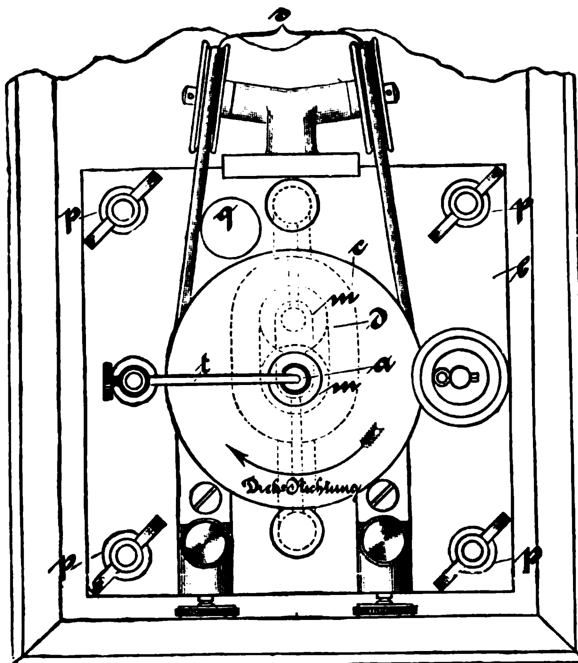


Figur 165.

keilförmig zugeschnittenen Kontaktstücken *h*. Durch Heben oder Senken der Düse mittels des Hartgummiknopfes *i* kann die Stromschlußdauer, selbst während des Betriebes, geändert und so die Funkenlänge ohne



Figur 166.

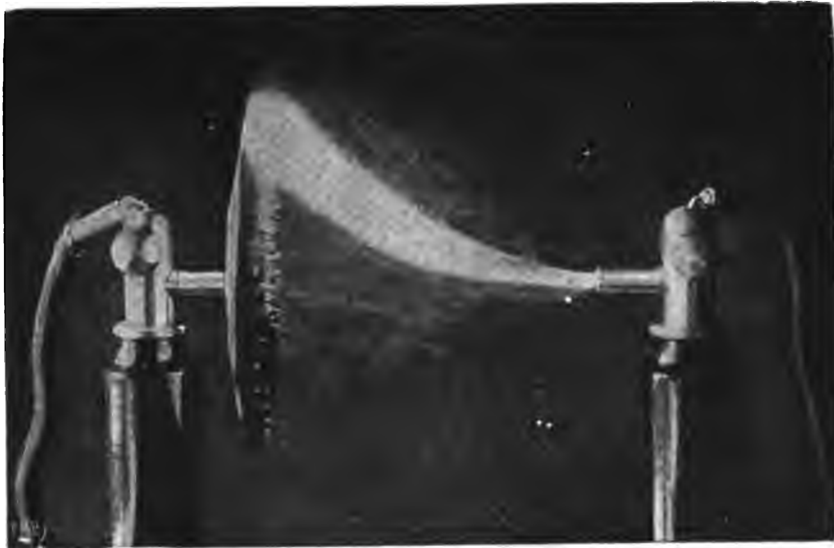


Figur 167.

Vertauschung der Kontaktstücke verändert werden. Bei Bedarf können übrigens Kontaktstücke herausgenommen oder breitere Kontakte eingesetzt werden. Durch Verwendung von Petroleum anstatt Alkohol oberhalb des Quecksilbers ist jede Explosionsgefahr vermieden, weil die Entflammungstemperatur des Petroleums sehr hoch liegt. Durch das Glasgefäß sind die Vorgänge im Unterbrecher und die Höhe der Füllung stets sichtbar, auch ist dadurch die Reinigung vereinfacht, weil nach Herausnahme der Unterbrecherteile, die alle an der Schiefer-Deckplatte befestigt sind, nur das Glasgefäß mit den Flüssigkeiten zurückbleibt. Die Figuren 168 und 169 geben ein Bild der mit diesem Unterbrecher erzielten Funkenentladungen eines Induktoriums.

In anderer Weise wird die Regulierung der Stromschlußdauer während des Betriebes bei dem Wodal-Unterbrecher der Elektrizi-

täts-Gesellschaft Sanitas verwirklicht und zwar durch Veränderung der Breite des austretenden Quecksilberstrahls.



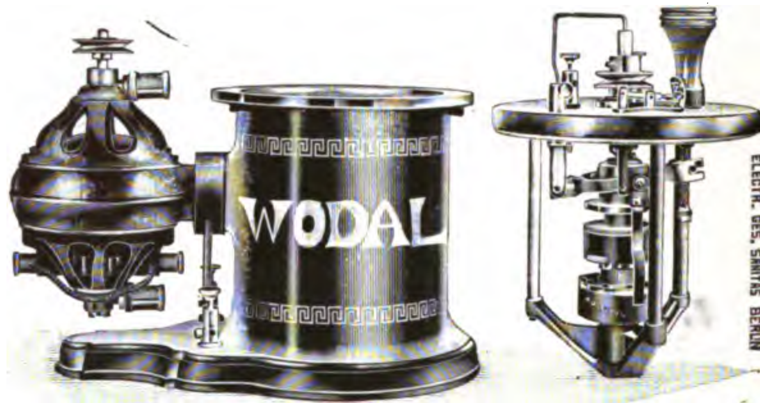
Figur 168.



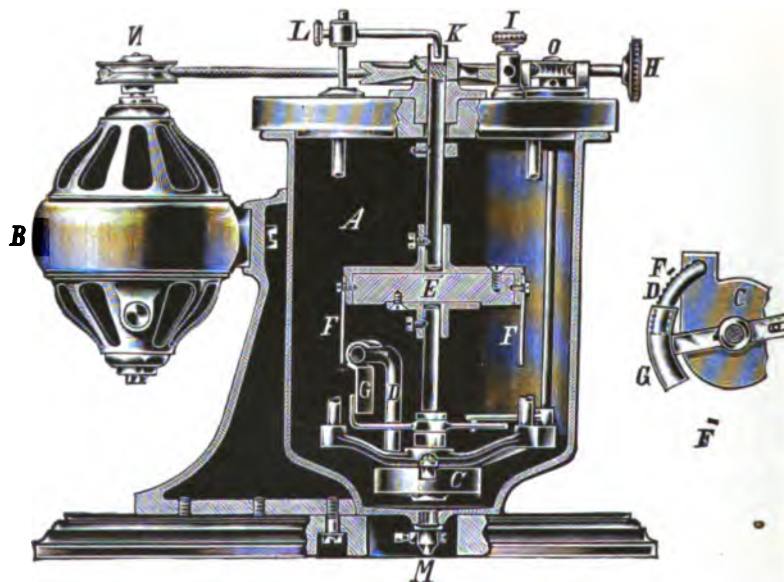
Figur 169.

Die Konstruktion dieses Unterbrechers ist aus den Figuren 170 und 171 ersichtlich. An dem gußeisernen Gehäuse *A* ist seitwärts ein kleiner Elektromotor befestigt, dessen vertikal gelagerte Achse mittels Schnurlauf *N* die Be-

wegung auf die Achse *K* überträgt. Die im Hohlraum *A* befindliche Achse *K* trägt einen Ansatz, woran sich mehrere Metallsegmente *FF* befinden.



Figur 170.

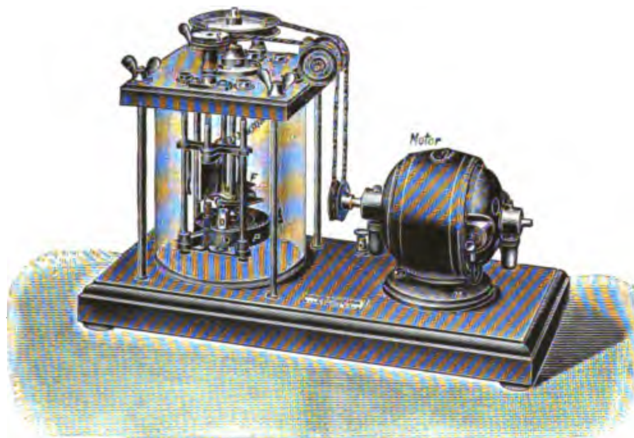


Figur 171.

Dieselben sind durch ein isolierendes Zwischenstück *E* von dem unteren Teil *C* getrennt. Auf dem Boden von *A* befindet sich Quecksilber, welches durch die unten durchlochte Kammer *C* treten kann und bei der Rotation

mittels einer kleinen Pumpe nach *D* befördert wird. Oberhalb *D* befindet sich die halbkreisförmige Ausstrahlvorrichtung, welche mit einer Anzahl Löchern versehen ist, an denen die rotierenden Segmente *F* passieren, während das Quecksilber aus diesen Löchern herausspritzt. Die Lochzahl kann durch ein Verschlußstück *G*, welches von der Stellschraube *H* aus bewegt wird, beliebig verändert werden. Sind sämtliche Löcher geöffnet, so tritt ein breites Strahlband nach *F* hinüber, wodurch die längste Stromschlußdauer erreicht wird; bei einer einzigen Lochöffnung ist die Stromschlußdauer am geringsten und kann auch durch Verdecken des letzten Loches der Strom ganz ausgeschaltet werden. Das Oeffnen und Schließen der Ausspritzlöcher kann an einem Zeiger bei *O* beobachtet werden. Zur Füllung des Wodal-Unterbrechers sind etwa 5 kg Quecksilber und 3 Liter Petroleum erforderlich.

Eine weitere Modifikation dieses Unterbrechertypus ist diejenige von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen, bei der das Quecksilber



Figur 172.

aus einer ebenfalls feststehenden Düse gegen eine feststehende Kupferplatte spritzt. Die Unterbrechungen des Stromes kommen dadurch zustande, daß eine mit Flügeln versehene Scheibe aus isolierendem Material den Quecksilberstrahl zeitweilig hindert, auf die Kupferplatte zu treffen. Dieser Unterbrecher ist in Figur 172 abgebildet. Die Entfernung des Kontakttellers und der Düse kann durch eine am Deckel angebrachte Schraubenmutter *S* innerhalb gewisser Grenzen verändert werden, um eine Regulierung der Kontaktdauer zu bewirken. Neuerdings wird derselbe Zweck in anderer Weise mit Hilfe eines verstellbaren Schleifkontaktes erreicht.

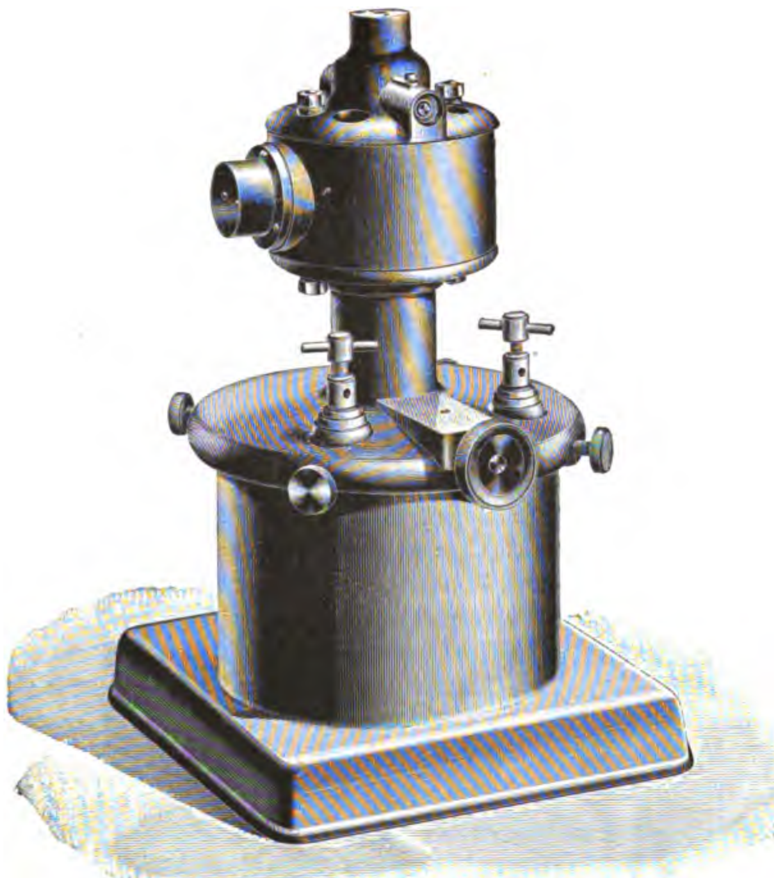
Ebenfalls mit einem feststehenden Strahl arbeitet der Intermittenz-Unterbrecher von H. Boas, bei dem aber im Gegensatz zu den bisherigen Strahlunterbrechern ein intermittierender Strahl zur Anwendung gelangt. Das Quecksilber wird vom Boden eines geeignet geformten Gefäßes durch eine Transportschnecke im Innern einer zylindrischen Röhre hochgehoben und spritzt durch die Düse in horizontaler Richtung aus. Die Transportschnecke wird durch einen direkt auf dem Unterbrecher angebrachten Elektromotor in Umdrehung versetzt. An der Welle der



Figur 173.

Transportschnecke befindet sich eine Sektorenscheibe, die so im zylindrischen Steigerohr läuft, daß sie den Eintritt zur Düse abwechselnd verschließt und freigibt. Es wird hierdurch bewirkt, daß das Ausfließen des Quecksilbers periodisch gehindert wird. Infolgedessen spritzt aus der Düse ein intermittierender Quecksilberstrahl heraus, welcher zwischen Düse und Kontakt abwechselnd Stromschluß und Unterbrechung gibt. Durch die Rotationsgeschwindigkeit des Motors und durch passende Zahl der Segmente am Abschlußschieber kann eine in gewissen Grenzen beliebig variable Unterbrechungszahl erzeugt werden. Für gewöhnlich werden die Sektoren scheiben mit zwei Segmenten geliefert, wodurch eine mittlere Unter-

brechungszahl von etwa 70 in der Sekunde entsteht. Oberhalb der Düse ist ein zweiter, in seiner Weite durch eine Schraube verstellbarer Abflußkanal angebracht, aus dem der sich bildende Schlamm austreten kann, so daß zur Düse immer nur reines Quecksilber gelangt. Zur Füllung dienen 1,6 kg Quecksilber und etwa $1^1/_2$ kg Alkohol (Figur 173 und 174). Da die Quecksilberstrahl-Unterbrecher keine hin- und hergehenden Teile

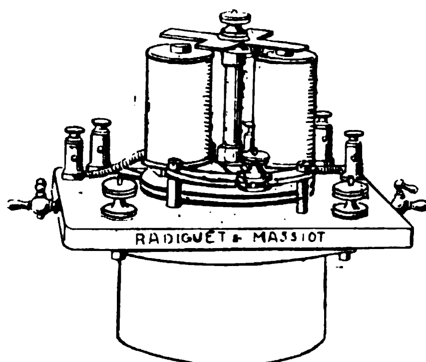


Figur 174.

besitzen, so zeichnen sie sich vor den oben beschriebenen Motorunterbrechern durch ruhigeren Gang aus.

Der einzige Nachteil der Strahlunterbrecher, wie überhaupt aller bisher beschriebenen Quecksilber-Unterbrecher, besteht in der verhältnismäßig schnellen Verschlammung des Quecksilbers, welche um so eher eintritt, je größer die Betriebsstromstärke des Induktors ist. Man muß

daher diese Unterbrecher öfter auseinander nehmen und reinigen, wobei auf die Giftigkeit des Quecksilberschlammes gebührend Rücksicht zu nehmen ist. Ein Verfahren zur Wiedergewinnung des Quecksilbers aus dem Schlamme ist am Schluß dieses Abschnitts angegeben. Man hat zwar zur Verminderung der Verschlammung vorgeschlagen, die Unterbrechungen in gasförmigen anstatt flüssigen Nichtleitern stattfinden zu lassen. Die besten Resultate erhält man mit Wasserstoffgas, beziehungsweise mit Leuchtgas, welches die Unterbrecher-Kammer dauernd durchströmt. Derartige Quecksilberstrahl-Unterbrecher werden z. B. von Leslie Miller in London, Radiguet et Massiot in Paris (vgl. Figur 175), und R. Seifert & Co. in Hamburg, hergestellt. Sie haben sich aber in die Praxis nicht recht eingeführt, weil die Gasdurchleitung eine gewisse Komplikation darstellt.



Figur 175.

Die neueren Quecksilber-Ring- oder Zentrifugal - Unterbrecher, denen wir uns nunmehr zuwenden wollen, stellen auch in dieser Hinsicht einen Fortschritt dar, so daß sie als die besten derzeitigen mechanischen Unterbrecher bezeichnet werden müssen. Das Charakteristische derselben besteht darin, daß die Unterbrechungen mit einer zentrifugierten Quecksilbermasse und einem rotierenden Kontakträdchen oder vibrierenden Kontaktstift erfolgen. Infolge des Zentrifugaldruckes bleibt die Quecksilberoberfläche völlig unverändert, im Besonderen tritt ein Ziehen oder eine Tropfenbildung des Quecksilbers wie bei den oben beschriebenen Tauch-Unterbrechern nicht ein, so daß die Exaktheit der Unterbrechungen nichts zu wünschen übrig läßt.

Als erster Repräsentant dieser Gruppe sei der Rotax-Unterbrecher der Elektrizitäts-Gesellschaft Sanitas Berlin beschrieben (Figur 176). Derselbe besteht aus einem kleinen Elektromotor mit vertikaler Achse, auf der das birnenförmige, die Unterbrechungsvorrichtung enthaltende Unterbrechergefäß sitzt. Letzteres wird mit Quecksilber und Petroleum gefüllt. In seinem Innern ist um eine exzentrisch zur Hauptachse gelagerte Achse eine Scheibe aus Isolationsmaterial drehbar, die zwei metallische Kontaktsegmente trägt. Letztere stehen durch einen Quecksilberkontakt mit einer auf dem Unterbrechergehäuse angebrachten Klemme in Verbindung. Eine zweite seitlich befestigte Klemme führt zu einem Kontakt,

der auf einem am Unterbrechergefäß selbst befindlichen Metallring schleift. Wenn nun der Motor eingeschaltet wird, hebt sich infolge der Zentrifugalkraft das Quecksilber, so daß es nach kurzer Zeit einen Ring an den Gefäßwandungen bildet. Die bewegliche Scheibe wird von dem rotierenden Quecksilber mitgerissen und ihre beiden Kontaktsegmente tauchen in regelmäßiger Wiederholung in den Quecksilberring ein, so daß bei jeder Umdrehung der Speisestrom des Induktors zweimal geschlossen und geöffnet wird.



Figur 176.



Figur 177.

Wie sich aus dem Vorstehenden ergibt, spielt sich der Unterbrechungsvorgang in äußerst einfacher Weise ab und verläuft absolut gleichmäßig, so daß unter sonst unveränderten Verhältnissen die Stromschlußdauer stets die gleiche bleibt. Zur Veränderung derselben dient eine auf dem Oberteil des Gefäßes angebrachte Schraube, mittels deren man die Scheibenachse der Gefäßachse nähern oder entfernen kann. Je größer der Abstand eingestellt wird, um so länger ist der Weg, den die Kontakte im Quecksilberring zurücklegen, d. h. die Stromschlußdauer.

Der Rekord-Unterbrecher (Figur 177) der Firma Reiniger, Gebbert & Schall A.-G. in Erlangen benutzt gleichfalls einen rotierenden Queck-

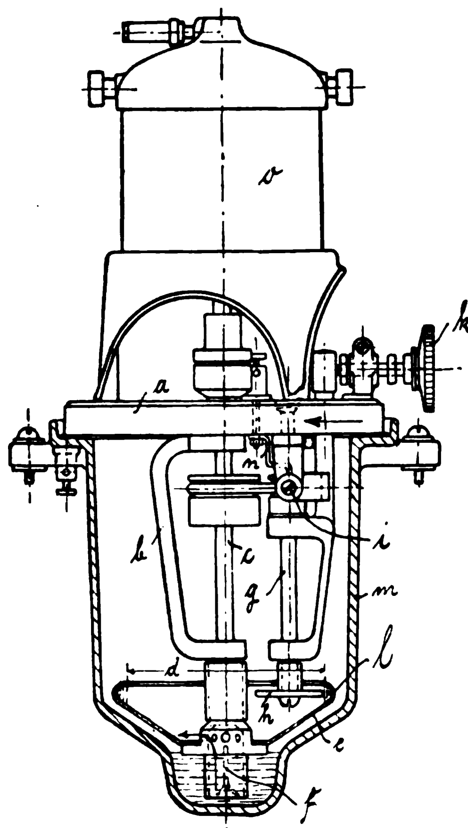
silberring. Mittels eines Exzenters wird ein leichter, an der Drehung teilnehmender Doppelkontaktstift intermittierend und senkrecht in das Quecksilber eingetaucht. Zur Funkenlöschung dient auch hier Petroleum. Die Stromschlußdauer kann mittels einer bequem während des Ganges verstellbaren Mikrometereinrichtung in den weitesten Grenzen variiert werden, während eine Eigenverstellung gänzlich ausgeschlossen ist. Zur Verminderung der durch den kreisenden und oszillierenden Kontaktstift hervorgerufenen Vibrationen ist der Unterbrecher federnd aufgehängt, so daß er fast geräuschlos arbeitet.



Figur 178.

Der dritte hier zu erwähnende Unterbrecher ist der von den Veifa-Werken, Aschaffenburg, hergestellte Dessauer-sche Deviations-Unterbrecher (Figur 178). Auch bei diesem kommt ein rotierender Quecksilberring zur Anwendung, der aber an einer ruhenden Stelle durch einen feststehenden Körper, Deviator genannt, in seiner Umlauffigur deformiert und zwar der Gefäßachse genähert wird, so daß an dieser Stelle das mit dem Gefäß fest verbundene Kontaktstück, das normal den Ring nicht berührt, bei jedem Umlauf einmal in das Quecksilber eintaucht.

Endlich sei noch der Tornado-Unterbrecher von Dr. Max Levy, Berlin, genannt, der dadurch gekennzeichnet ist, daß Unterbrechergefäß und Zentrifuge getrennt sind (vergl. Figur 179 und 180). Er besteht aus einem ruhenden Gehäuse, welches nach unten trichterförmig verläuft. In das im unteren Teile befindliche Quecksilber taucht das mit einer Schöpfvorrichtung versehene Innenstück der Zentrifuge, welche durch den direkt gekuppelten Motor in schnelle Rotation versetzt wird. Hierdurch wird das Quecksilber angesaugt und von der Zentrifuge mitgenommen.



Figur 179.

Nach oben ist der Druckkörper offen, d. h. der Rand ist nur bis zu einem ganz bestimmten Durchmesser nach innen zurückgeführt. Dies hat zur Folge, daß sich Quecksilber nur bis zu dem Durchmesser dieses inneren Randes ansetzen kann, während der Ueberschuß wieder in das äußere Gefäß zurückfällt. Der Vorgang ist wesentlich, da sich auf diese Weise die für den idealsten Gang des Unterbrechers benötigte Quecksilbermenge automatisch einstellt.

Damit fällt das bei den oben beschriebenen Zentrifugal-Unterbrechern von Zeit zu Zeit notwendige Nachfüllen von Quecksilber fort, da das auf dem Boden des Unterbrechergefäßes zurückbleibende Quecksilber eine für lange Zeit ausreichende Reserve bildet. Die offene Zentrifuge dieses Unterbrechers bietet auch den Vorteil, eine erhebliche Menge Lösch- und Kühlflüssigkeit (Petroleum) anwenden zu können, die dauernd von der Unterbrechungsstelle in der Zentrifuge nach außen und umgekehrt zirkuliert, wodurch eine zu hohe Temperatur und damit ein Rauchen bei sehr hoher Belastung vermieden wird. Die Kontaktscheibe aus Isoliermaterial, die in das zentrifugierte Quecksilber eintaucht, trägt an zwei sich gegenüberstehenden Punkten mit der Achse verbundene Kontaktstücken, welche beim Antrieb der Scheibe von der Motor- und Zentrifugenachse aus rhythmisch in das Quecksilber eintauchen und die Unterbrechung des Stromes hervorrufen. Die Eintauchtiefe des Kontakträdchens



Figur 180.

und damit die Stromschlußdauer kann durch eine Schraubvorrichtung reguliert werden.

Der Unterbrecher kann in kürzester Zeit demontiert werden und ist dann in seinen Einzelheiten leicht zugänglich, da Dichtungsstellen nicht vorhanden sind.

Da die Quecksilberring-Unterbrecher keine hin- und hergehenden Teile besitzen und sich die Frequenz infolge der dadurch erreichbaren hohen Tourenzahl ohne Schwierigkeit bis zu mehreren hundert Unterbrechungen pro Sekunde steigern läßt, ferner Ströme beliebig hoher Spannung und außerordentlich hoher Stromstärke, sehr und exakt unterbrochen werden können, so daß man die Induktoren rationell ausnutzen kann, so wird man diese Unterbrecher überall da anwenden, wo auf hohen Anschaffungspreis keine besondere Rücksicht genommen werden muß. Vor den Strahlunterbrechern haben sie den nicht zu unterschätzenden Vorteil geringerer Verschlammung, da das Quecksilber durch den Betrieb selbst zentrifugiert und sedimentiert wird. Alles in allem stellen sie die besten, anpassungsfähigsten und ökonomischsten Unterbrecher der Gegenwart dar.

Ehe wir die mechanischen Unterbrecher verlassen, dürfte es angezeigt sein, etwas näher auf die Anwendung und Bedeutung hoher Betriebsspannungen einzugehen. Nach den bereits früher erörterten Prinzipien hängt die in der sekundären Spule des Induktors erzeugte elektromotorische Kraft von der zeitlichen Aenderung der Gesamtzahl der den Eisenkern passierenden magnetischen Kraftlinien ab. Letztere ist wieder abhängig von dem Querschnitt des Eisenkerns und der magnetischen Induktion (vergl. S. 50). Da diese in erster Annäherung der Magnetisierungsstromstärke proportional sein kann, erhält man ein ungefähres Bild vom Verlauf der Magnetisierung des Eisenkerns, wenn man Anstieg und Abfall der Magnetisierungsstromstärke zugrunde legt.



Figur 181.

Wegen der Selbstinduktion der Primärspule nimmt nun die primäre Stromstärke nicht plötzlich nach erfolgtem Stromschluß, sondern erst nach Verlauf einer gewissen Zeit ihren höchsten Wert an. In Figur 181 ist die zeitliche Zunahme der Stromstärke, welche nach der bekannten Gleichung:

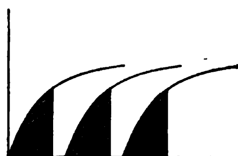
$$J = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$$

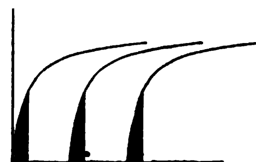
erfolgt, worin E die elektromotorische Kraft, R den Widerstand, L die Selbstinduktion des Stromkreises bezeichnet und e=2,71 828 . . . ist.

schematisch dargestellt. Man sieht daraus, daß die Stromstärke und damit die Magnetisierung des Eisenkerns erst nach Verlauf einer längeren Zeit den höchsten Wert annimmt.

Da nun die elektromotorische Kraft des Induktionsstromes der zeitlichen Aenderung des Gesamt-Kraftflusses proportional ist, so ergibt sich, daß man in der sekundären Spule bedeutend größere elektromotorische Kräfte erzielt, wenn man den Strom erst nach vollständigem Ansteigen der Magnetisierung unterbricht, als wenn man den Strom bereits vorher, als die Magnetisierung noch nicht so hoch gestiegen war, unterbrochen hätte. Regulieren wir z. B. den Levy'schen Quecksilberstrahl-Unterbrecher in der Weise, daß die Kontaktdauer nur $^1/_{100}$ Sekunde beträgt, so nutzen wir die Magnetisierung des Eisenkerns im Induktor nur in sehr geringem Maße aus (Figur 182). Ist die so erzielte induzierte elektromotorische Kraft zu gering, so können wir entweder die Unterbrechungszahl vermindern, indem wir den Motor langsamer laufen lassen, oder aber wir heben die Düse in die Höhe. In beiden Fällen wird die Zeitdauer jedes einzelnen Stromschlusses verlängert, der weitere Anstieg der Magnetisierung begünstigt und damit die Induktionswirkung erhöht. (Figur 183).


Figur 182.


Figur 183.


Figur 184.

Kann man aber bei einer bestimmten Unterbrechungszahl die Stromschlußdauer nicht mehr verlängern, so muß man zu einer höheren Betriebsspannung übergehen. Der Stromanstieg erfolgt dann bedeutend schneller und der Abfall der Magnetisierung ist ein größerer (Figur 184).

Während man nun bei den oben beschriebenen Platin-, einfachen Quecksilber- und Motor-Quecksilber-Unterbrechern hohe Spannungen wegen der starken Funkenbildung nicht anwenden konnte, beziehungsweise durch Energie verzehrende Widerstände herabsetzen mußte, kann man mittels der Quecksilber-Strahl- und Ring-Unterbrecher dem Induktor Spannungen bis zu 250 Volt direkt, ohne Vorschaltwiderstand, zuführen. Das ermöglicht natürlich, unbeschadet der völligen magnetischen Sättigung des Eisenkerns, eine sehr hohe Unterbrechungszahl, und das Resultat ist eine überraschend starke Leistung des Induktors. Außerdem aber kann man bei dieser Art Unterbrecher sehr leicht vom Starkstrombetrieb zu Batteriebetrieb (und

umgekehrt) übergehen, indem man nur die Stromschlußdauer vergrößert, beziehungsweise verringert, ohne die Unterbrechungszahl zu verändern Andererseits ist es natürlich unzweckmäßig, die Stromschlußdauer unnütz groß zu machen, weil dann die Stromstärke und Magnetisierung nicht mehr zunimmt und die elektrische Energie nutzlos vergeudet wird.

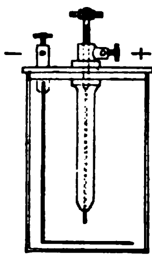
c) Flüssigkeits-Unterbrecher.

Auf gänzlich anderen Prinzipien beruhen die Flüssigkeits-Unterbrecher, welche Unterbrechungszahlen bis zu einigen Tausend pro Sekunde erzielen lassen. Bei diesen Unterbrechern wird eine enge Flüssigkeitsbrücke durch Joule'sche Wärme in Dampf verwandelt und da Wasserdampf den Strom nicht leitet, der Strom unterbrochen. Die durch die überaus plötzliche Stromunterbrechung hervorgerufene Selbstinduktionsspannung durchschlägt nun die erhitzte Dampfblase, die explosionsartig auseinandergeschleudert und durch die umgebende Flüssigkeit wieder kondensiert wird, soweit keine Zersetzung in Wasserstoff und Sauerstoff erfolgt ist. Die Stromleitung wird wieder hergestellt und das Spiel beginnt von neuem.*) Der Unterbrechungsvorgang ist von einem markanten Geräusch und einer gelbrötlichen Lichterscheinung begleitet.

Man kann zwei Arten von Flüssigkeitsunterbrechern unterscheiden:

1. solche, bei denen die Unterbrechungen zwar innerhalb der Flüssigkeit, aber an der einen Elektrode selbst erfolgen, und
2. solche, bei denen die Unterbrechungen innerhalb der Flüssigkeit, aber getrennt von den Elektroden erfolgen.

1. Der Grundtypus der ersten Art ist der Wehnelt- oder Stiftunterbrecher, häufig auch „elektrolytischer Unterbrecher" genannt, weil man zuerst irrtümlich glaubte, den hierbei beobachteten Unterbrechungsvorgang durch stattfindende Elektrolyse erklären zu können. In seiner ein fachsten Form, in der er auch heute noch vielfach Anwendung findet, besteht er in der Hauptsache aus einem mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Glasgefäß (Figur 185), in welches zwei sehr verschieden große Elektroden eintauchen. Die aus einer Bleiplatte gebildete große Elektrode wird mit dem



Figur 185.

*) Vergl. A. Wehnelt, Elektrotechnische Zeitschrift S. 76—78, 1899; Annalen der Physik. N. F. Bd. 68, S. 233 bis 272, 1899; H. Th. Simon, ebenda, S. 273 bis 293; E. Ruhmer, Elektrotechnische Zeitschrift XX, S. 456 bis 458, 1899; E. Klupathy, Annalen der Physik. 4. F. Bd. 9, S. 147 bis 163, 1902; D. R.-P. Nr. 129 340 vom 3. Januar 1899; Ung. Patent; Amerikan. Patent Nr. 670 142.

negativen Pol, die aus einem dünnen Platinstift bestehende kleine Elektrode mit dem positiven Pol verbunden. Der Platinstift kann in einer Glasröhre eingeschmolzen oder in einer solchen durch eine Dichtung verschiebbar angeordnet sein. Schaltet man diesen Unterbrecher in einen Stromkreis, der eine nicht zu kleine Selbstinduktion besitzt, z. B. in den primären Stromkreis eines Induktoriums, und erhöht die Spannung auf 30 bis 60 Volt, so geht die Sauerstoffentwicklung bei plötzlicher Stromstärkeverminderung in die von einer eigentümlichen gelbrötlichen Lichterscheinung und einem stark knatternden Geräusch begleitete Unterbrechungserscheinung an der Platinspitze über. Diese Unterbrechungen sind außerordentlich exakt und vollkommen. Die Frequenz ist von der Geschwindigkeit, mit der sich die den Stift einhüllende Dampfblase bildet, abhängig, also einerseits von der Oberfläche des Stiftes, andererseits von der Schnelligkeit des Stromanstiegs, auf welche sowohl Betriebsspannung, Vorschaltwiderstand, als auch insbesondere die Selbstinduktion des Stromkreises von Einfluß sind. Kurze und dünne Stifte geben daher hohe, lange und dicke Stifte niedrigere Unterbrechungszahlen. Je größer die Selbstinduktion, desto langsamere Unterbrechungen erhält man. Da die Unterbrechung erst dann eintritt, wenn die Stromstärke den zur Verdampfung der den Stift umgebenden Flüssigkeit erforderlichen Wert erreicht, entspricht einer bestimmten Stiftoberfläche eine bestimmten Stromstärke, bei dem die Unterbrechung eintritt. Dieser Momentanwert, der, wie wir wissen, für die Wirkung des ganzen Unterbrechungsvorgangs von ausschlaggebender Bedeutung ist, ist für ein und denselben Stift konstant und ändert sich im Gegensatz zu den Quecksilber-Unterbrechern auch nicht, wenn man mehr oder weniger Vorschaltwiderstand ausschaltet. Hierdurch wird lediglich eine schnellere Aufeinanderfolge der einzelnen Unterbrechungen bewirkt, so daß man auf diese Weise die Unterbrechungszahl ohne Aenderung der sonstigen Verhältnisse beliebig variieren kann. Bei zu geringer Selbstinduktion setzen die Unterbrechungen ganz aus und der Platindraht fängt zu glühen an.

Die Unterbrechungen sind so plötzlich und vollständig und der dadurch bewirkte Abfall der Stromstärke beziehungsweise der Magnetisierung so rapide, daß der Kondensator des Induktoriums ganz in Fortfall kommen kann. Das bedeutet eine wesentliche Vereinfachung und Verbilligung des Instrumentariums.

Um bei älteren Induktoren, die eine zu geringe Selbstinduktion der Primärspule besitzen, den Wehnelt-Unterbrecher anwenden zu können, schaltet man vor den Unterbrecher einen besonderen induktiven Vorschaltwiderstand.

Figur 186 zeigt den Wehnelt-Unterbrecher in einer der ersten Formen, in welcher er von Ferdinand Ernecke in Berlin hergestellt und in den Handel gebracht wurde. Er bestand aus einem viereckigen Glasgefäß mit Hartgummideckel, an dem die negative Elektrode, eine Bleiplatte, angeordnet war. Die aktive Elektrode war seitwärts, dicht über dem Boden des Gefäßes, eingeführt. Die Länge des Platinstiftes war durch eine Schraubenanordnung verstellbar. Zur Füllung dieses Modells genügte eine Mischung von 1540 ccm Wasser und 150 ccm Schwefelsäure. Die Funktion dieser Konstruktion war recht zufriedenstellend, besonders wenn auf die Dichtung des Platinstiftes eine etwas größere Sorgfalt verwendet wurde. In der von der Fabrik anfänglich gefertigten Weise war diese Dichtung etwas mangelhaft. Man ging deshalb bald zur Einführung des Platinstiftes von oben über.



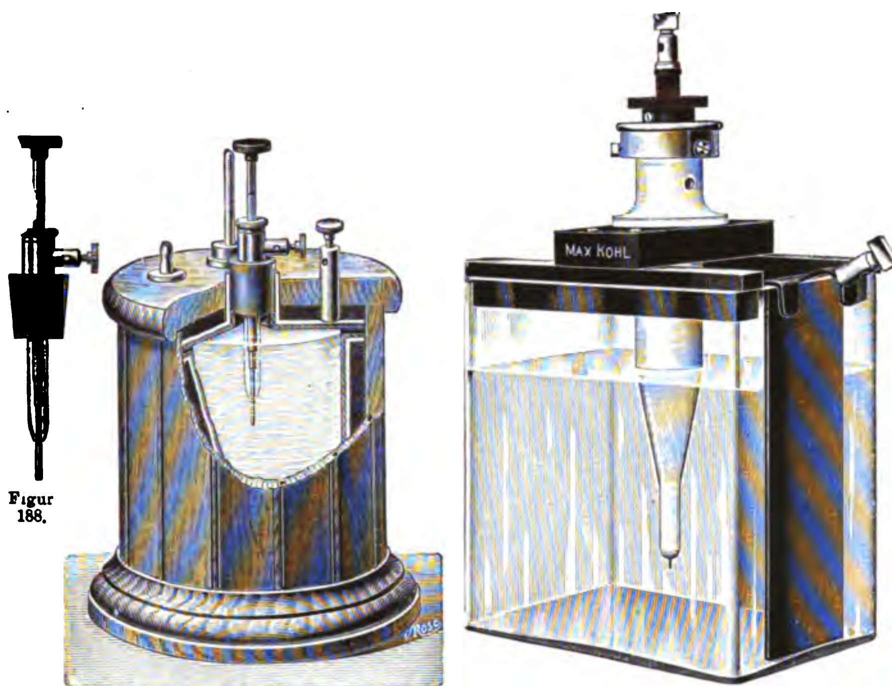
Figur 186

In Figur 187 ist die Ausführungsform dargestellt, welche Siemens & Halske in Berlin, die das Wehnelt-Patent, welches übrigens in Kürze abläuft, erwarb, diesem Unterbrecher gegeben hat. Durch den Deckel ist ein Porzellanrohr geführt, das einen verbleiten Kupferstift mit daran gelötetem Platindraht enthält. Das obere Ende dieses Metallstiftes trägt ein Schraubengewinde mit Kordelmutter, mittels der man den Platinstift aus dem Porzellanrohr mehr oder weniger lang herausschieben kann. Die Kathode wird durch einen breiten Bleistreifen gebildet, der spiralig um die Porzellanröhre gewickelt ist. Die Dichtung zwischen dem Platinstift und dem Porzellanrohr ist natürlich noch unvollkommener als bei der Ernecke'schen alten, ersten Konstruktion; eine Folge davon ist, daß beim Arbeiten des Unterbrechers Flüssigkeit in das Porzellanrohr getrieben wird. Ein seitliches Ansatzrohr mit feiner Oeffnung soll zum Ausgleich der Niveaudifferenz dienen.



Figur 187.

Aehnlich konstruiert ist der Wehnelt-Unterbrecher von J. Carpentier, Paris, der in Figuren 188 und 189 abgebildet ist.



Figur 188.

Figur 189.

Figur 190.

Die jetzt gebräuchliche Ausführungsform des Wehnelt-Unterbrechers, bei der das Porzellanrohr konisch gestaltet ist, zeigt Figur 190.

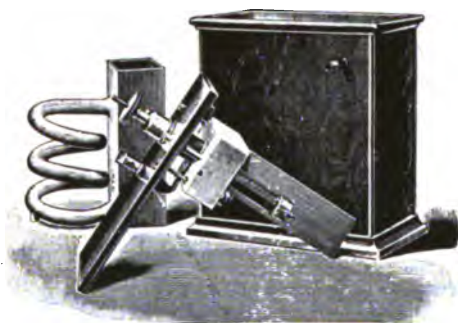
F. Ernecke empfiehlt zur Füllung des Unterbrechers Schwefelsäure vom spezifischen Gewicht 1,14, Max Kohl solche vom spezifischen Gewicht 1,10 bis 1,15, Reiniger, Gebbert & Schall solche von 1,18.

Hauser wendet zur Erniedrigung der Unterbrecherstromstärke eine halbgesättigte Lösung von Magnesiumsulfat an, die mit verdünnter Schwefelsäure leicht angesäuert wird. Wünscht man höhere Unterbrechungszahlen, so setzt man diesem Gemisch noch etwas Kaliumalaun zu.

Da sich die Flüssigkeit beim Betriebe des Unterbrechers erhitzt, so würde sie beim Dauerbetrieb schließlich bis zum Siedepunkt gelangen, und da alsdann keine Kondensation der gebildeten Unterbrechungsdampfblase stattfinden könnte, würde der Unterbrecher aussetzen. Um diese übermäßige Erwärmung des Elektrolyten zu verhindern, haben Siemens & Halske in Berlin einen Wehnelt-Unterbrecher mit kontinuierlicher Kühlvorrichtung

in den Handel gebracht. Die Kühlvorrichtung besteht aus einem Bleigefäß mit seitlich angesetzter Bleikühlschlange, welches mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt wird und die beiden am Deckel befestigten Elektroden aufnimmt. Dieses Bleigefäß hängt in einem größeren, mit Wasser gefüllten Behälter (Figur 191 und 192), der eventuell an die Wasserleitung angeschlossen werden kann.

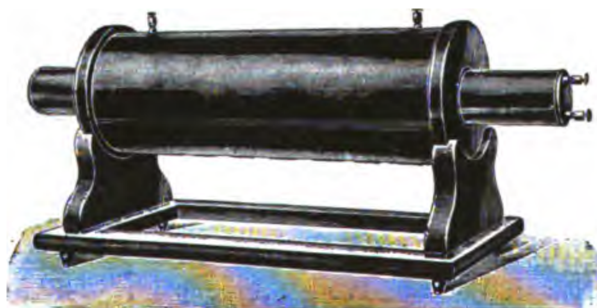




Figur 191.

Figur 192

Da die größeren Funkeninduktoren der früheren Bauart, mit dem Wehnelt-Unterbrecher betrieben, keine befriedigende Leistung ergaben, meist noch eines induktiven Vorschaltwiderstandes bedurften, so ging man bald dazu über, Spezialinduktoren für den Betrieb mittels Wehnelt-Unterbrecher zu bauen. Da kein Kondensator erforderlich ist, so fehlt an diesen Induktoren der Kondensatorkasten, was als äußerliches Kennzeichen gelten kann. Natürlich sind die Wicklungen der primären und sekundären Spulen den beim Wehnelt-Unterbrecher vorkommenden Stromverhältnissen angepaßt.

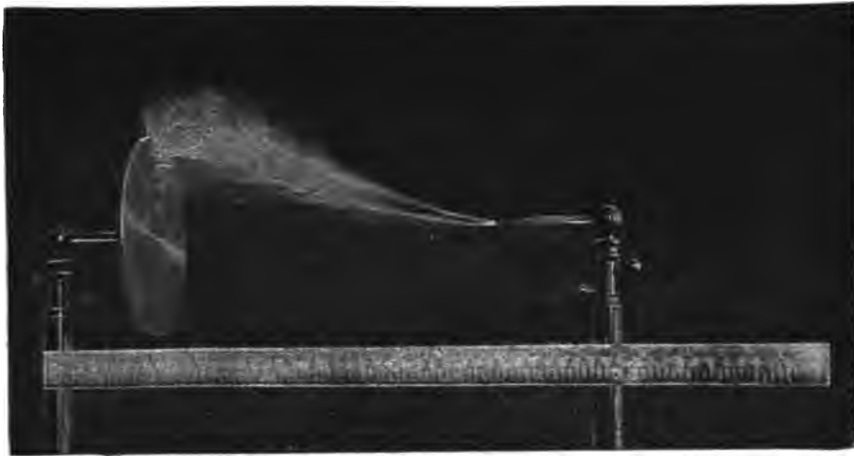


Figur 193.

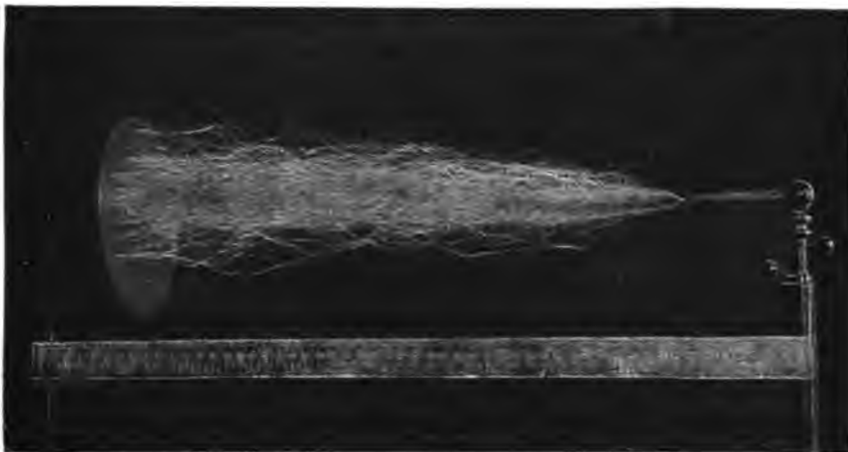
Figur 193 zeigt einen derartigen Funkeninduktor von 40 cm Schlagweite von Max Kohl in Chemnitz, der in Verbindung mit dem ersten Modell des von Ferdinand Ernecke in Berlin hergestellten Wehnelt - Unter-

brechers die in Figur 194 und 195 abgebildeten kräftigen Funkenentladungen erzeugt.

Wegen des starken Geräusches, den der Wehnelt-Unterbrecher im Betriebe verursacht, ebenso wegen der unangenehmen Gasentwicklung, ist



Figur 194.



Figur 195.

es in vielen Fällen (z. B. in Krankenzimmern, Operationssälen etc.) vorteilhaft, den Unterbrecher außerhalb des Arbeitszimmers, in welchem sich der Induktor befindet, aufzustellen. Um für diesen Fall die etwas umständliche Regulierung der Stiftlänge zu vermeiden, hat man Wehnelt-

nterbrecher mit mehreren Stiften von verschiedener Länge konstruiert, welche durch einen an einem Tableau angebrachten Schalter abwechselnd oder gleichzeitig betätigt werden können. In Figur 196 ist ein solcher Unterbrecher von Max Kohl in Chemnitz dargestellt, der drei Stifte von



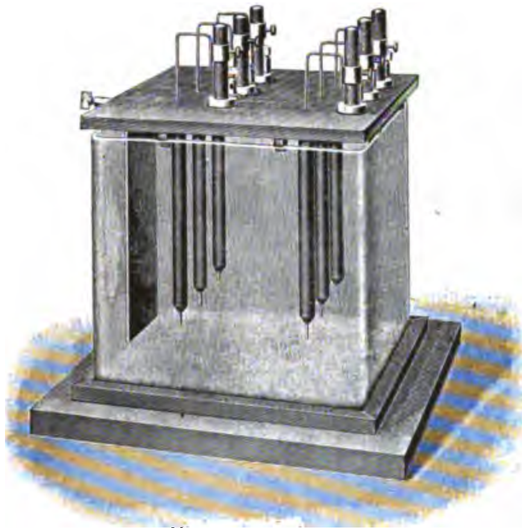
Figur 196.

verschiedener Länge enthält, und in Figur 197 eine ältere Ausführungsform eines 6-stiftigen Wehnelt-Unterbrecher der Siemens & Halske A.-G.

Neuerdings bringt die Firma Koch & Sterzel in Dresden einen Wehnelt-Unterbrecher in den Handel, der es gestattet die Stiftlänge auf elektromagnetischen Wege zu verstellen (Figur 198 „Telix"). Dieser Wehnelt-Unterbrecher mit Fernregulierung macht natürlich die kostspieligen Vielfachstiftunterbrecher mehr oder weniger überflüssig und stellt daher eine wesentliche Vereinfachung des Instrumentariums dar.

Um eine gute Regulierfähigkeit des Unterbrechers nach Funkenlänge und Unterbrechungszahl (insbesondere für Roentgenzwecke, bei harten und weichen Röhren) zu erzielen, ist außerdem eine Primärspule im Induktor mit veränderlicher Selbstinduktion erforderlich. Zu diesem Zweck wird

die Primärspule so eingerichtet, daß, je nach Bedarf, mittels eines Umschalters die einzelnen Drahtlagen parallel oder hintereinander oder gruppenweise geschaltet werden können. Man kann dann, in Verbindung mit einem mehrteiligen oder regulierbarem Unterbrecher, die Leistung des Induktors den je-



Figur 197.



Figur 198.

weiligen Erfordernissen (Zustand der Roentgenröhre) anpassen. (Schaltung nach Dr. Walter und Dr. Albers-Schöneberg in Hamburg.)*) Da bei geringerer Selbstinduktion (Parallelschaltung) auch die primäre Windungszahl geringer wird, muß man bei dieser Schaltung im allgemeinen mit größerer Stiftoberfläche arbeiten, um dem Eisenkern des Induktors die erforderliche Magnetisierung zu erteilen, und somit gleiche Funkenlänge als bei



Figur 199.

*) Vergl. B. Walter, Fortschritte auf dem Gebiete der Roentgenstrahlen. Bd. IV, Heft 1, S. 46 ff. 1900.

höherer Selbstinduktion, wo die entsprechende Sättigung schon bei kleinerer Stiftoberfläche erzielt wird, zu erhalten.

Diese Einrichtung hat zugleich den Vorzug, daß man denselben Induktor sowohl mit einem Wehnelt- als auch mit einem Quecksilberstrahl-Unterbrecher betreiben kann.

Reiniger, Gebbert & Schall rüsten ihre größeren Induktoren mit einem Dreifachschiebe - Umschalter (Figur 199) aus, Max Kohl in Chemnitz mit einem Steck-Umschalter (Figur 200).



Figur 200.

An Stelle der Steckumschaltevorrichtung zur Veränderung der primären Wicklung wendet man auch vielfach Pachytrope an, wie solchen Figur 201 von Max Kohl, Chemnitz, zeigt. Bei großen Induktoren, bei denen die Umschaltung recht kompliziert werden kann, vereinigt man die Schaltapparate und die fein abgestuften Regulierwiderstände in einem fahrbaren Schalttisch oder einer Wandschalttafel, so daß man von einer Stelle aus alle Kombinationen zwischen den verschiedenen Abteilungen der Pri-



Figur 201

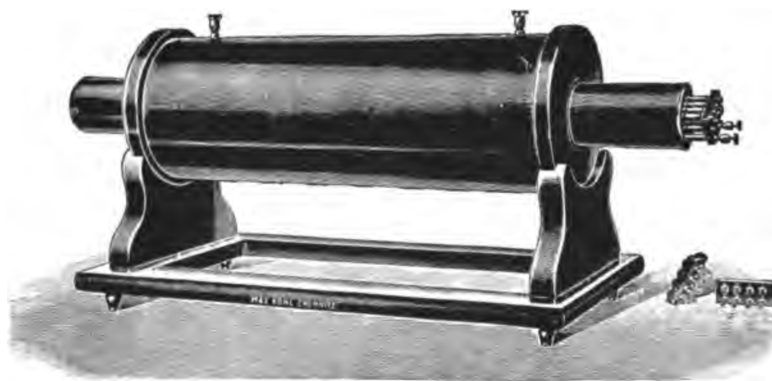
märwicklung und den verschieden langen aktiven Elektroden der Unterbrecher bewirken kann. Wir werden in einem folgenden Abschnitt hierauf zurückkommen.

Schaltet man alle Drahtlagen hintereinander (Stöpsel für weiche Röhren), so erhöht sich die Selbstinduktion der Spule, die Unterbrechungen erfolgen langsamer und die Funkenlänge des Induktors wird stark vermindert. Benutzt man nun im Unterbrecher einen sehr kurzen Platinstift, so erhöht dies die Unterbrechungszahl unter gleichzeitiger Verminderung der Stromstärke und der Induktor ist mit dieser Schaltung zum Betriebe weicher Roentgenröhren vorzüglich geeignet.

Schaltet man die Drahtlagen in zwei Gruppen (Stöpsel für mittelweiche Röhren), so vermindert sich die Selbstinduktion der Spule, die Unterbrechungen erfolgen schneller, die Funkenlänge erhöht sich. Man benutzt nun einen etwas längeren Platinstift, dadurch vermindert sich die Unterbrechungszahl bei gleichzeitiger Zunahme der Stromstärke, und der Induktor ist nun für mittelweiche Röhren sehr gut geeignet.

Für harte Röhren schaltet man mit dem entsprechenden Stöpsel alle Drahtlagen parallel, die Selbstinduktion der Spule ist dann sehr gering, die Unterbrechungen werden schnell und die Funkenlänge des Induktors erreicht ihr Maximum Durch Verlängerung des Platinstiftes im Unterbrecher vermindert man die Zahl der Unterbrechungen unter gleichzeitiger Erhöhung der Stromstärke.

Die großen Induktoren werden sogar mit einer vierfachen Schaltung der primären Spule versehen. Figur 202 zeigt einen derartig eingerichteten



Figur 202.

Induktor mit 60 cm Funkenlänge von Max Kohl in Chemnitz. Folgende Tabelle läßt die große Regulierfähigkeit desselben bei verschiedenen Längen des Platinstiftes und unter Benutzung eines Stromregulators erkennen:

Prüfungsergebnisse des Funkeninduktors Nr. 1466.

Auftrags-Nr. 5052. Bestimmungsort: Königsberg. Größe: 11 a.
Funkenlänge: 600 mm. Betriebsspannung 110 Volt.

Chemnitz, den 18. Februar 1902.

Betrieb durch Wehnelt-Unterbrecher.

Schaltung	Vom Widerstand war $^2/_3$ ausgeschaltet			Der Widerstand war ganz ausgeschaltet.		
	Länge des Platinstifts	Stromstärke in der Primärspule	Funkenlänge	Länge des Platinstifts	Stromstärke in der Primärspule	Funkenlänge
Maximalleistung (Sehr kleine Selbstinduktion d. Primärspule)	18 mm	20 Amp.	450 mm	18 mm	25-30 Amp.	600 mm
	16 „	20 „	400 „	16 „	25 „	580 „
	14 „	18 „	400 „	14 „	24 „	560 „
	12 „	18 „	400 „	12 „	23 „	520 „
Harte Röhren (Kleine Selbstinduktion)	12 mm	20 Amp.	460 mm	12 mm	20 Amp.	460 mm
	10 „	15 „	450 „	10 „	15 „	450 „
	8 „	12 „	420 „	8 „	15 „	450 „
	6 „	10 „	380 „	6 „	10 „	410 „
Mittelweiche Röhren (Mittlere Selbstinduktion)	8 mm	10 Amp.	300 mm	8 mm	10 Amp.	310 mm
	6 „	8 „	300 „	6 „	9 „	300 „
	4 „	6 „	290 „	4 „	7 „	300 „
	2 „	2 „	250 „	2 „	3 „	260 „
Weiche Röhren (Große Selbstinduktion)	4 mm	5 Amp.	220 mm	4 mm	6 Amp.	230 mm
	3 „	5 „	210 „	3 „	5 „	220 „
	2 „	3 „	190 „	2 „	2 „	190 „
	1 „	2 „	150 „	1 „	2 „	160 „
	$^1/_2$ „	1 „	80 „	$^1/_2$ „	1 „	80 „

Betrieb durch Motor-Unterbrecher.

Es ist die Schaltung „Maximalleistung“ zu verwenden.	Vom Widerstand war $^1/_2$ ausgeschaltet.		Der Widerstand war ganz ausgeschaltet.	
	Stromstärke in der Primärspule 3 Amp.	Funkenlänge 500 mm.	Stromstärke in der Primärspule 3—4 Amp.	Funkenlänge 550 mm.

H. W. Cox in London bringt eine etwas andere Form des Wehnelt-Unterbrechers auf den Markt. Bei dieser Konstruktion besteht die Kathode aus einem gekrümmten Bleirohr, welches die aus einem Kupferdraht gebildete und mit einem Isoliermaterial bekleidete Anode umschließt, so daß nur der am Ende des Kupferdrahtes angelötete Platindraht hervorragt.

Die Frequenz wird durch eine kleine Glasröhre reguliert, die (durchaus nicht dicht anliegend) mehr oder weniger weit über den Platindraht geschoben wird (Figur 203). Dieser Unterbrecher soll recht gut arbeiten, wenig Geräusch machen und nicht so schnell ermüden.

Aehnlich wirkt auch der von Watson & Sons in London konstruierte Codd'sche Flüssigkeits-Unterbrecher, den Figur 204 darstellt; bei ihm bewegt sich der Platindraht in einer feinen Glasröhre.

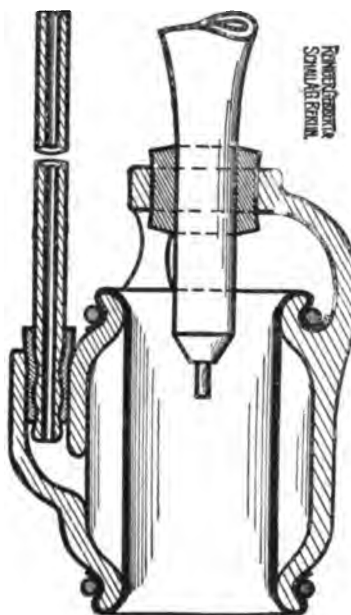


Figur 203.



Figur 204.

Zum Schluß dieses Abschnittes sei noch des Schalldämpfers für Wehnelt-Unterbrecher der Firma Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen, gedacht, welcher es gestattet, den Unterbrecher im Roentgenraume selbst aufzustellen und dadurch die kostspieligen Leitungen nach einem besonderen Raum zu sparen. Er besteht, wie aus der Schnittzeichnung (Figur 205) zu ersehen ist, aus einem Porzellanhohlkörper, in dessen Innerem ein Diaphragma aus bestem, säurefettem Gummi ausgespannt ist, so daß sich zwischen Gummi und Porzellan ein Luftraum befindet. Der sich so bildende ringförmige Luftraum nimmt mit Hilfe des elastischen Gummidiaphragmas den bei der Unterbrechung eintretenden Explosionsstoß wie ein Polster auf, während sonst, ohne Dämpfer, der Explosionsstoß durch die unkomprimierbare Flüssigkeit schallerzeugend auf die äußeren Glasgefäßwandungen übertragen wurde. Der Porzellankörper hängt an einem auf den Unterbrechereinsatz aufgeschobenen Gummipfropfen. Das seitlich angebrachte Glasrohr stellt eine Verbindung des Luftpolsters mit der Außenluft her, so daß die Ausdehnung der Luft des elastischen Polsters keine Blähung des Gummis gegen den Stift hin hervorrufen kann. Eine Veränderung der Wirkung des Unterbrechungsvorganges selbst tritt durch den Dämpfer nicht ein.



Figur 205.

Beachtenswert ist, daß der Wehnelt-Unterbrecher bei Benutzung mit Schalldämpfer bedeutend besser arbeitet wenn der Säurespiegel nicht wie gewöhnlich 5 bis 8 cm, sondern etwa 12 cm über dem Wehneltstift steht.

Während der Wehnelt-Unterbrecher von der Stromrichtung abhängig ist, insofern die Platinelektrode stets Anode sein muß, und für Roentgenzwecke eine große Regulierbarkeit erfordert, die sich nur durch veränderliche Primärspulen, durch Anwendung verstellbarer oder mehrerer Kontaktstifte erreichen läßt, was immerhin eine ziemliche Komplikation und Verteuerung der Anlage zur Folge hat, besitzt die andere Art der Flüssigkeits-Unterbrecher, deren Grundtypus der

2. Caldwell-Simon'sche Loch-Unterbrecher*) ist, die eben genannten Uebelstände nicht. Sein Betrieb ist von der Stromrichtung unabhängig; er besitzt eine genügende Regulierbarkeit, der starke Platinverbrauch des Stift-Unterbrechers oder irgendwelche Abnutzung findet nicht statt. Derselbe ist auch noch bei Spannungen bis zu 250 Volt verwendbar, während der Wehnelt-Unterbrecher nur bis zu 150 Volt benutzt werden kann. Sein einziger Nachteil dem Wehnelt-Unterbrecher gegenüber besteht darin, daß seine Frequenz im allgemeinen etwas niedriger ist, und daß er bei sehr geringer Unterbrechungszahl nicht ganz so regelmäßig unterbricht, wie jener.



Figur 206.

Der Unterbrechungsvorgang findet bei den Loch-Unterbrechern an einer beliebigen Stelle zwischen den beiden Elektroden, an einer Einschnürungsstelle des Elektrolyten durch ein Diaphragma aus isolierendem Material statt.

Der Simon-Unterbrecher bestand bei der ersten Ausführungsform von Siemens & Halske (Figur 206) aus einem Glasgefäß, in dem zwei Bleielektroden in verdünnter Schwefelsäure hingen. Beide Elektroden sind durch ein zylinderförmiges, unten halbkugelartig abgerundetes Porzellan-Diaphragma getrennt, welches am Boden ein oder mehrere kleine Löcher hat. Von der Größe beziehungsweise Anzahl dieser Löcher hängt die Betriebsstromstärke und Unterbrechungszahl ab. Das Porzellan-Diaphragma

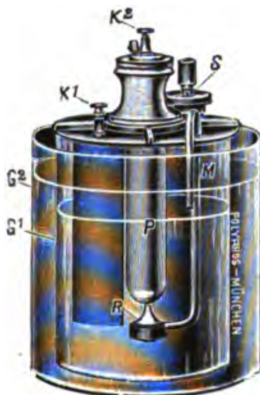
*) E. T. Z. 1899, S. 440; D. R.-P. 107 470.

besaß innerhalb des Gefäßes eine seitliche Oeffnung, welche den Zweck hatte, die beim Arbeiten des Unterbrechers im inneren Gefäß hochsteigende Schwefelsäure nach dem äußeren Gefäß zurücklaufen zu lassen. Da ein solches Ueberlaufen aber zu einem Kurzschluß, unter Umständen sogar zu einer Explosion der im Gefäß sich ansammelnden Gase führen kann, ist das Ueberlaufloch bei dem neueren Modell (Figur 207) oberhalb des Deckels angebracht und so der Uebelstand zum größten Teil beseitigt.

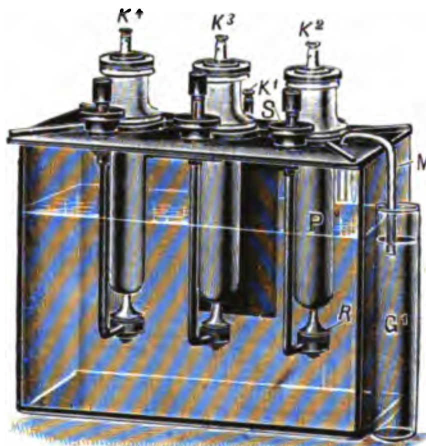


Figur 207.

Eine ähnliche Konstruktion weist Campbell Swintons Modifikation*) des Caldwell-Unterbrechers auf. Bei demselben kann die Lochgröße und damit die Stromstärke, beziehungsweise die Unterbrechungszahl, mittels eines konischen Glasstiftes, der verstellbar ist und in das Loch geschoben wird, reguliert werden. In Deutschland werden derartig regulierbare Loch-Unterbrecher von der Polyphos Elektrizitäts-Gesellschaft in München gebaut. Figur 208 zeigt einen einfachen, Figur 209 einen dreifachen Lochunterbrecher dieser Art.



Figur 208.



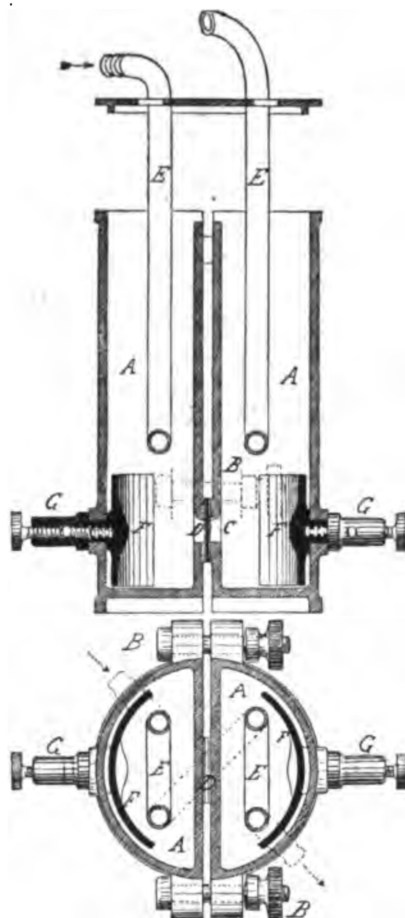
Figur 209.

Um das recht unangenehme Steigen der Schwefelsäure in dem inneren Gefäße und die daraus resultierende Unregelmäßigkeit der Unterbrechungszahl zu beseitigen, konstruierte Verfasser seinen Plättchen-Unterbrecher.**) Das Steigen der Säure im inneren Rohr hat

*) Proceedings of the London Phys. Soc. 1899, S. 419.

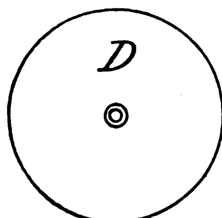
**) Zeitschr. „Der Mechaniker" 1901, S. 64; Physik. Zeitschr. 1901, S. 445 u. 742; E. T. Z. 1901, S. 457.

nämlich seine Ursache in dem ungleichen Volumen der beiden Gefäße. Der Plättchen-Unterbrecher besteht deshalb aus zwei inhaltlich und der Form nach ganz gleichen, halbzylindrischen Porzellangefäßen *AA* (Figur 210), welche mit ihren flachen Seitenwänden aneinander gelegt und durch Schrauben *BB*, die durch seitliche Ansätze gesteckt sind, zu einem zylindrischen Doppelgefäß verbunden werden. In den Zwischenwänden befinden sich kreisförmige, größere Löcher *C*, durch welche beide Gefäße nach dem Zusammensetzen kommunizieren. Durch ein dazwischen gelegtes dünnes Porzellanplättchen (Figur 211), welches in seiner Mitte eine oder auch mehrere runde, beiderseits konisch versenkte Oeffnungen hat, wird die Kommunikation beider Gefäße noch mehr verengt. Die Dichtung erfolgt mit Gummischeiben und bietet keinerlei Schwierigkeiten. Die Auswechselung eines solchen Plättchens zum Zwecke der Veränderung des Durchgangsquerschnittes kann innerhalb einiger Minuten erfolgen. Die Plättchen sind der Abnutzung nicht unterworfen; die Löcher lassen sich mit großer Genauigkeit und in jeder beliebigen Größe schleifen.



Figur 210.

Der Unterbrecher wird in mehreren Größen und Ausführungsformen hergestellt. Bei dem kleinen Modell ist mit dem Deckel des Gefäßes eine eigentümlich geformte Kühlschlange aus Porzellanrohr fest verbunden, welche beim Abheben des Deckels aus dem Unterbrecher mit herausgezogen wird.



Figur 211.

Bei der neuesten Form des Plättchen-Unterbrechers (Figur 212) sind die Elektroden nicht mehr wie anfangs am Deckel des Gefäßes, sondern seitlich und gänzlich unter dem Schwefelsäure-

niveau liegend angebracht; Nebenschlüsse und die Explosionsgefahr durch Gleitfunken sind hierdurch völlig ausgeschlossen. Erwähnt sei noch, daß die Polklemmen und Zusammenhalteschrauben mit nichtleitendem und schwefelsäurebeständigem Material überzogen sind.

Eine Zwischenstellung zwischen der Siemens & Halske'schen und der soeben beschriebenen Form des Loch-Unterbrechers nimmt die Levy'sche Konstruktion desselben ein. Derselbe behält das Siemens & Halske'sche Diaphragma bei, versieht dasselbe aber an seinem unteren Ende mit einer Vorrichtung zur Anbringung und zum Auswechseln von einem Porzellanplättchen, wie solche bei dem Plättchen-Unterbrecher Anwendung finden. Diese Konstruktion besitzt natürlich genau dieselben Nachteile wie jene von Siemens & Halske, die vorhin erwähnt wurden.



Figur 212.

Die Loch-Unterbrecher besitzen, wie schon hervorgehoben wurde, eine große Regulierfähigkeit. Es können die Verhältnisse so abgestimmt werden, daß durch alleinige Benutzung eines Regulierwiderstandes, mit einer einzigen Lochgröße und nur einer Selbstinduktion, eine z. B. für Roentgenzwecke völlig ausreichende Regulierung erzielt wird, wie dies mit einem Plättchen-Unterbrecher auf der Naturforscher-Versammlung 1901 in Hamburg konstatiert wurde,*) so daß er bis zu einem ziemlich hohen Grade der Vollkommenheit allen in der Praxis vorkommenden Fällen genügt.

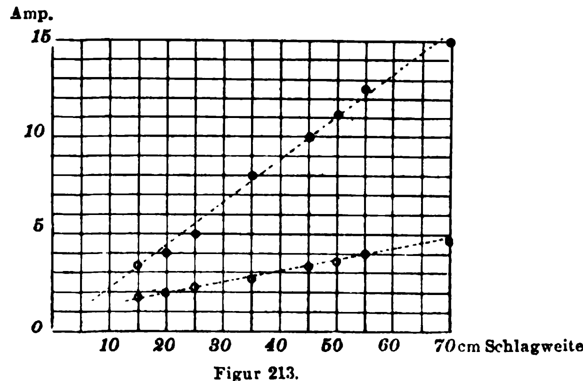
Die Loch-Unterbrecher eignen sich für Spannungen von 70 bis 250 Volt, und ihr Stromverbrauch ist ein verhältnismäßig geringer. In Figur 212 sind die an acht verschiedenen Induktoren mit Schlagweiten von 15 bis 70 cm gemessenen Stromstärken (bei 110 Volt Betriebsspannung) sowie die dabei benutzten Lochweiten graphisch aufgetragen.

Die Flüssigkeits-Unterbrecher zeichnen sich im allgemeinen durch ihre Einfachheit und Billigkeit, durch den Fortfall jeder Reinigung und die Möglichkeit, den Induktor mit sehr hohen Unterbrechungszahlen stark auszunutzen, was besonders für Roentgenzwecke zur Erzielung ruhiger

*) Vergl. Bericht der Prüfungskommission in „Fortschritte auf dem Gebiete der Roentgenstrahlen". Bd. V, Heft 1, S. 79. 1901.

Fluoreszenzbilder und abgekürzte Expositionszeit wichtig ist, aus. Durch den Fortfall des Kondensators wird der Preis des Induktoriums wesentlich verbilligt.

Zu ihren Ungunsten spricht die geringe Oekonomie, indem der größte Teil der Stromenergie im Unterbrecher nutzlos in Wärme ver-



Figur 213.

wandelt wird, sodann ihr starkes Geräusch und die Entwicklung übelriechender Gase. Letzterer Uebelstand läßt sich in gewissem Grade dadurch beheben, daß man auf die Säure eine ca. 1 cm hohe Schicht Paraffinöl gießt. Im Gegensatz zu den mechanisch gesteuerten Unterbrechern ist die Anzahl der Unterbrechungen und auch die Leistung von der Belastung des sekundären Kreises abhängig.

Im allgemeinen wird es sich empfehlen, die Flüssigkeits-Unterbrecher bei Netzanschlüssen (70 bis 250 Volt), die Quecksilber-Strahl- beziehungsweise -Ring-Unterbrecher dagegen bei Akkumulatorenbetrieb anzuwenden. In den Fällen, wo es auf Regelmäßigkeit der Unterbrechungen ankommt, wird man die Quecksilber-Unterbrecher, in den Fällen, wo hohe Unterbrechungszahlen erwünscht sind, wird man die Flüssigkeits-Unterbrecher vorziehen.

Endlich sei noch an dieser Stelle ein mehr interessanter als praktisch brauchbarer Unterbrecher erwähnt, bei dem die Unterbrechungen gleichfalls innerhalb eines Elektrolyten stattfinden, der von Jirotka angegebene pneumatische Unterbrecher. Derselbe (Figur 214) weist große Aehnlichkeit mit dem Wehnelt-Unterbrecher auf. Mittels eines Ventilators wird ein Luftstrom erzeugt, der in einzelnen die aktive Elektrode umgebenden Blasen innerhalb der elektrolytischen Zelle austritt. Seine Wirkungsweise ist wahrscheinlich folgende: Die Luftblasen verändern die aktive Oberfläche der Stiftelektrode; wenn dieselbe einen bestimmten Wert unterschreitet, tritt die Wirkung des Wehnelt-Unterbrecher sein. Man hat es also mit einer Kombinations-

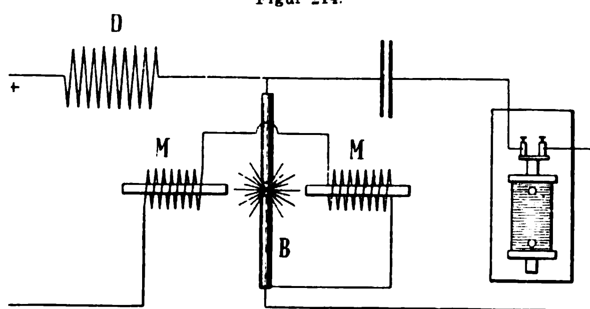
wirkung zu tun, nicht mit einer ausschließlichen Luftblasen-Wirkung. Verfasser hatte übrigens kurz nach Bekanntwerden des Wehnelt-Unterbrechers einen ähnlichen Unterbrecher konstruiert und beschrieben,*) bei dem aber ein Dampfstrahl um die Stiftelektrode in den Elektrolyten geleitet wurde. Die Aehnlichkeit mit dem Wehnelt-Unterbrecher war hier noch größer, weil der Dampf im Elektrolyten kondensiert wurde.



Figur 214.

Gas-Unterbrecher.

Eine besondere Stellung nimmt der im folgenden beschriebene Lichtbogen-Unterbrecher des Verfassers ein. Nicht nur, weil bei demselben der Stromschluß ohne direkte Berührung fester oder flüssiger Leiter zustande kommt, sondern auch weil die Zusammenschaltung desselben mit dem Induktor in anderer Weise wie bei allen bisher beschriebenen mechanischen Unterbrechern erfolgt. Der Unterbrechungsvorgang spielt sich nämlich in der Weise ab, daß ein Lichtbogen in schneller Aufeinanderfolge gezündet und gelöscht wird; die primäre Spule des Induktors liegt mit einem großen Kondensator in Serie in einem Nebenkreise zu diesem intermittierenden Lichtbogen (vergl. die schematische Figur 215).



Figur 215.

*) Vergl. E. T. Z. 1899, Seite 456.

Wie Figur 216 erkennen läßt, besteht der Unterbrecher in seiner einfachsten Ausführungsform aus einer Handregulierbogenlampe mit schräg nach oben verlaufenden Kohlenstäben. Der zwischen diesen übergehende Lichtbogen befindet sich im Felde eines Doppelelektromagneten, der mit dem Lichtbogen in Serie geschaltet ist. Parallel zum Lichtbogen liegt ein Kondensator und mit diesem in Serie die primäre Spule des Induktors. Zur Einleitung des Unterbrecherspiels muß man zunächst die Kohlenstifte mit einander in Berührung bringen. Sobald man dieselben dann wieder von einander entfernt, bildet sich der Lichtbogen, der durch die magnetische Einwirkung nach oben geblasen schnell erlischt, da die an den Elektroden herrschende Spannungsdifferenz zur Aufrechterhaltung des stark verlängerten Bogens nicht mehr ausreicht. Da Lichtbogen und Elektromagnet in Serie geschaltet sind, verschwindet in gleichem Moment auch die Blaswirkung.



Figur 216.

Infolge der Unterbrechung entsteht nun in dem Parallelkreis ein Ausgleichsstromstoß, der um so kräftiger ausfällt, je größer die Selbstinduktion in der Lichtbogenspeiseleitung ist. Aus diesem Grunde ist es zweckmäßig, in letztere eine Drosselspule einzuschalten. Der hierdurch ausgelöste mit dem Speisestrom gleichgerichtete Reaktionsrückstromstoß zündet den Lichtbogen von selbst wieder, so daß das Spiel von neuem beginnt.

Man hat nur nötig, von Zeit zu Zeit die infolge Abbrands der Kohlenstäbe größer werdende Entfernung wieder nachzuregulieren, um ein dauerndes Arbeiten dieses Unterbrechers zu erreichen. Figur 217 stellt einen etwas komplizierten, automatisch regulierenden Lichtbogen-Unterbrecher dar, der bei Stromeinschaltung automatisch zündet und sich selbst wie eine Bogenlampe reguliert.

Da die Schnelligkeit des Stromanstiegs von den Konstanten des Speisestromkreises und des Parallelkreises, die Schnelligkeit des Stromabfalls von der Stärke des magnetischen Gebläses abhängig ist, so kann man

die Unterbrechungszahl durch geeignete Bemessung aller dieser Faktoren in den weitesten Grenzen regulieren. Außerdem spielt auch das Material der Elektroden, zwischen denen, und die Atmosphäre, in welcher der Lichtbogen übergeht, eine große Rolle. Für langsamere Unterbrechungen, speziell zum Betrieb von Funkeninduktoren, eignen sich in freier Luft brennende Flammenbogenkohlen am besten, sind höhere Unterbrechungs-



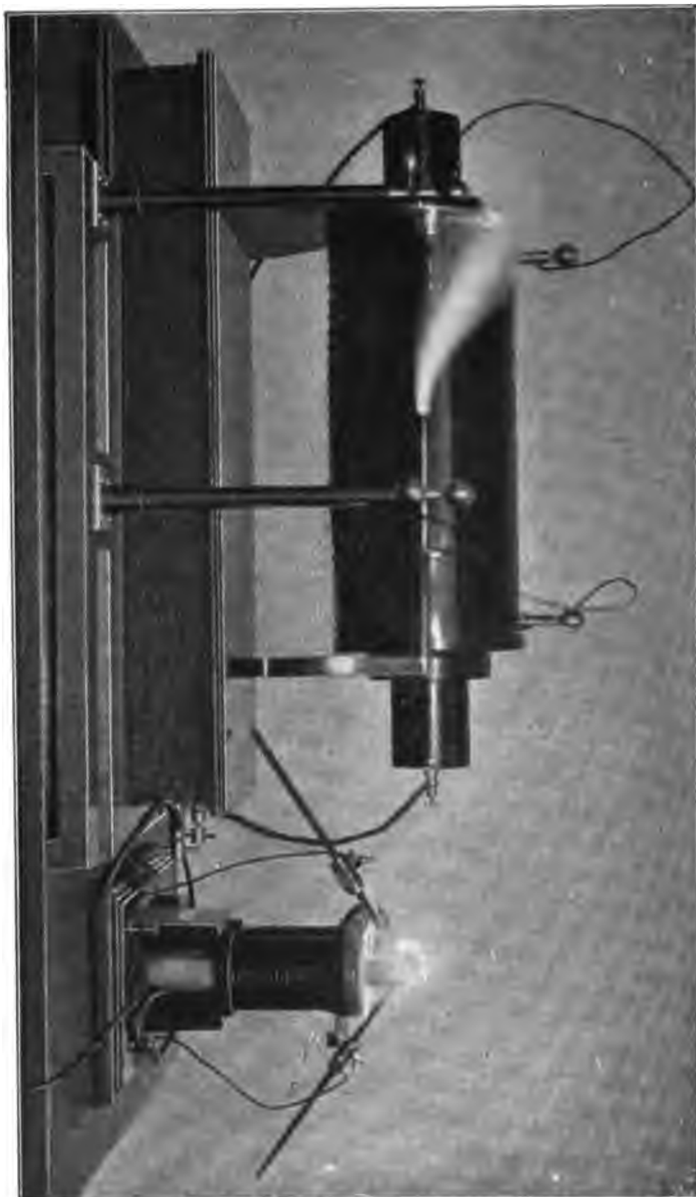
Figur 217.

zahlen erforderlich, so nimmt man homogene Kohlen oder gekühlte Metallelektroden und läßt den Lichtbogen, ähnlich wie auch Poulsen, in einer Wasserstoff- oder Leuchtgas-Atmosphäre übergehen. Auf diese Weise kann man bis zu 100 000 und mehr Unterbrechungen pro Sekunde erzielen, so daß sich direkt Tesla-Transformatoren speisen lassen.

Für den Betrieb gewöhnlicher Induktoren wird man natürlich eine geringere Unterbrechungszahl anwenden. Besonders vorteilhaft ist es, die Kopplung zwischen primärer und sekundärer Wicklung etwa durch teilweises Herausziehen des Eisenkerns zu lockern und dann etwa durch Veränderung der Größe des Kondensators die Eigenschwingung des dem Lichtbogen parallel geschalteten Schwingungskreises auf die Eigenschwingung der sekundären Spule abzustimmen.

Figur 218 zeigt den in diesem Falle erzielbaren Flammenübergang zwischen den sekundären Polen.

Dieser Lichtbogen-Unterbrecher gestattet die höchste Unterbrechungszahl aller bisher bekannt gewordenen Unterbrecher zu erreichen. Dies

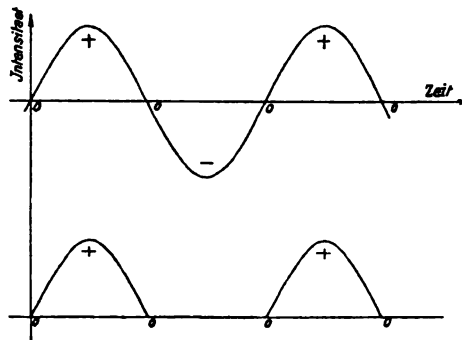


Figur 218.

ist auch leicht erklärlich, wenn man berücksichtigt, daß die die Leitung und Nichtleitung bewirkenden Gase außerordentlich geringe Trägheit haben.

2. Unterbrecher für Wechselstrom.

Da ein Wechselstrom seine Intensität und Richtung periodisch ändert, so müßte derselbe nach den auf Seite 2 auseinander gesetzten Prinzipien schon allein, ohne Zwischenschaltung eines Unterbrechers, zum Betriebe eines Induktors verwendet werden können. Dies ist in der Tat der Fall und findet in der Praxis bei den technischen Transformatoren für Licht- und Kraftströme eine ausgedehnte Anwendung, um Wechselströme von einer bestimmten Spannung in Wechselströme anderer Spannung zu verwandeln. Der in der sekundären Spule induzierte Strom besitzt dann natürlich auch den Charakter des Erregerstromes, d. h., er ist ebenfalls ein Wechselstrom. Für viele physikalische Zwecke hat das keinerlei Nachteile, im Gegenteil, oft ist es sogar erwünscht, einen Induktor mit Wechselstrom zu speisen. Infolge des langsamen Anstieges und Abfalles der Stromstärke ist aber die Induktionswirkung eine viel schwächere, d. h., die in der sekundären Spule des Induktors erzielte Spannung ist eine bedeutend geringere als bei unterbrochenem Strom, während die Stromstärke in gleichem Verhältnis größer ist. Will man hohe Spannungen erzielen, so muß man die sekundäre Windungszahl möglichst erhöhen, also sehr dünnen Sekundärdraht verwenden. Bei der drahtlosen Telegraphie und bei Tesla-Experimenten wendet man die Speisung von Induktoren mittels Wechselstrom sehr häufig an, da man dabei viel größere Energiemengen in der sekundären Spule des Induktors leichter erhält als mittels eines Gleichstrom-Unterbrechers. Für Roentgenzwecke ist es dagegen erforderlich, die Röhren mit mehr oder minder stark ausgeprägtem Gleichstrom zu betreiben. Sehen wir hier von den in einem späteren Abschnitt behandelten Methoden des unterbrecherlosen Roentgenbetriebs mittels durch Spezialtransformatoren (Funkentransformatoren) auf hohe Spannung transformierten Wechselstroms ab und legen einen gewöhnlichen Funkeninduktor zugrunde, so ist es bei vorhandenem Wechselstromanschluß am vorteilhaftesten, mittels eines Wechselstrom-Gleichstromumformers (vergl. diesen besonderen Abschnitt) den Wechselstrom in

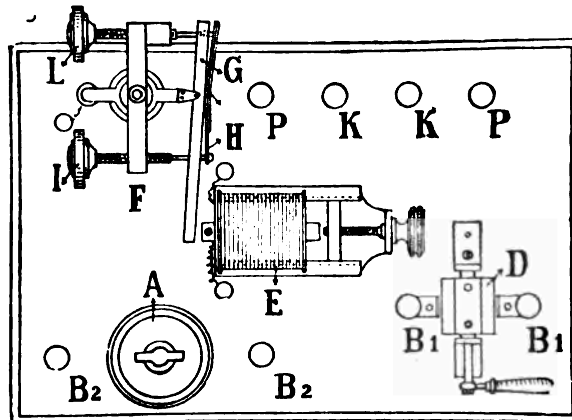


Figur 219.

Gleichstrom zu verwandeln und letzteren dann zum Betriebe des Induktoriums in der früher beschriebenen Weise zu benutzen. — Eine derartige Anlage ist aber im Anschaffungspreise ziemlich kostspielig, so daß man in vielen Fällen Wechselstrom-Unterbrecher anwendet. Bei denselben wird meist nur eine Phase des Wechselstromes benutzt (vergl. Figur 219), die andere dagegen möglichst unterdrückt. Um einen hohen Induktionseffekt zu erzielen, muß der Strom auf dem Gipfel der gleichnamigen Phasen, also in dem Augenblicke der höchsten Stromentfaltung, unterbrochen werden. Im allgemeinen erfordern also die Wechselstrom-Unterbrecher eine sehr genaue Einstellung, und ihr Nutzeffekt ist ein niedriger. Man kann die Wechselstrom-Unterbrecher in mechanische und Flüssigkeits-Unterbrecher gruppieren.

a) Mechanische Wechselstrom-Unterbrecher.

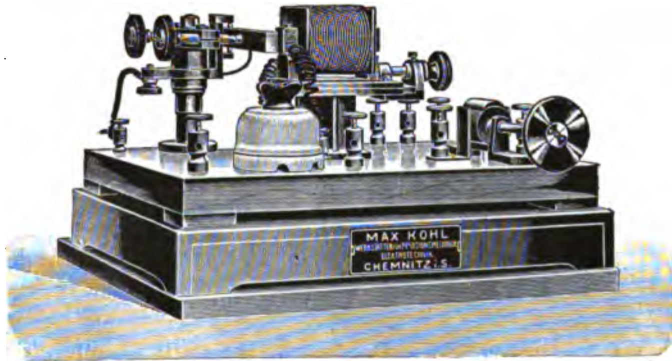
Hierhin gehört der Wechselstrom-Platin-Unterbrecher von Max Kohl in Chemnitz, der etwas ausführlicher behandelt werden soll. Bei ihm wird durch einen synchron schwingenden Anker der in die primäre Spule des Induktors geleitete Wechselstrom während jeder Periode einmal, und zwar im Maximum der Stromkurve unterbrochen. Der polarisierte Anker wird durch einen Elektromagneten, der in einen zweiten Stromkreis des gleichen Wechselstromes geschaltet ist, in mit den Phasen des Wechselstromes synchrone Schwingungen versetzt. Die Einstellung der Unter-



Figur 220.

brechung auf den Moment des Maximums der Stromstärke erfolgt durch eine Regulierschraube. In Figur 220 ist der Kohl'sche Wechselstrom-Unterbrecher schematisch dargestellt. Schließt man mit Hilfe des Ausschalters *A* den Strom des Elektromagneten *E*, so wird der polarisierte

Anker *O* jedesmal dann angezogen, wenn die Polarität der Spule der des Ankers entgegengesetzt ist. Der Anker wird daher mit den positiven oder den negativen Phasen des Wechselstromes in synchrone Schwingungen versetzt. Durch die Schwingungen des Ankers wird die Kontaktfeder *H* mitbewegt, und es wird der an der Feder befindliche Platinkontakt von der Kontaktschraube *I* entfernt und der Strom unterbrochen. Bei der Rückschwingung wird der Kontakt wieder hergestellt. Die Einstellung der Unterbrechung auf das Maximum der Stromstärke erfolgt durch die Stellschraube *I*, während die Eigenschwingung des Ankers, der Periodenzahl des Wechselstromes entsprechend, durch die Schraube *L* mit Elfenbeinstift reguliert werden kann. Die Klemmen B_2B_2 dienen zur Stromzuführung für den Funkeninduktor, *D* ist ein Stromwender, *PP* werden mit der Primärspule des Induktors, *KK* mit dem Kondensator verbunden. Dieser in Figur 221 dargestellte Wechselstrom-Unterbrecher bedarf einer sehr



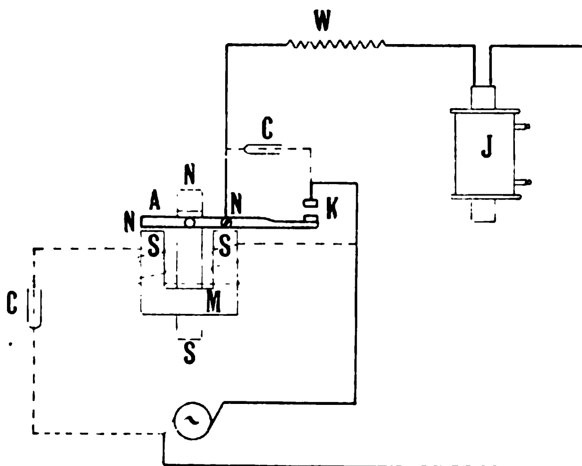
Figur 221.

sorgfältigen Einstellung, doch wird derselbe von der ihn herstellenden Firma richtig eingestellt geliefert. Der Anschluß an das Leitungsnetz erfolgt, wenn kein Schaltbrett zur Verwendung gelangt, nach dem im zehnten Kapitel gegebenen Leitungsschema.

Der Unterbrecher läßt demnach die eine Phase des Wechselstromes die Primärspule des Induktors passieren, ohne sie zu unterbrechen, infolgedessen wirkt sie natürlich nur sehr schwach induktiv, während die andere Phase im Maximum der Stromstärke unterbrochen wird und stark induzierend wirkt; es ist daher von vornherein klar, daß dieser Unterbrecher, wie überhaupt alle Wechselstrom-Platin-Unterbrecher, recht unökonomisch wirken muß. Die Funkenlänge ist durchschnittlich um 5 % kleiner als bei einem Quecksilber-Unterbrecher, weil die Unterbrechung, in der Luft erfolgend, nicht exakt ist. Derartige Unterbrecher kommen daher nur bei kleineren Induktoren, etwa bis zu 20 cm Funkenlänge in Betracht.

Eine größere Verbreitung hat der Wechselstrom-Platin-Unterbrecher von Koch gefunden, der von der Firma Koch & Sterzel, Dresden, hergestellt wird (vergl. Figur 222). Derselbe besteht im wesentlichen aus einem unter dem Einfluß eines permanenten Magnetfeldes und eines Wechselfeldes synchron zur Netzspannung schwingenden Anker, dessen eines Ende mit Platin armiert, den Unterbrecherkontakt betätigt. Der Unterbrecher bietet gegenüber dem oben beschriebenen abgestimmten mechanischen Wechselstrom-Unterbrecher (System Kohl) den Vorteil, daß er stets dieselbe Stromrichtung des Wechselstromes unterbricht und dadurch die sekundäre Richtung des Funkenstromes genau wie bei Gleichstrombetrieb von vornherein bestimmt ist. Besonderes Interesse verdient dieser Unterbrecher noch durch die bei ihm angewendete Phasenkorrektur. Die Wirkung von Selbstinduktion der Unterbrecherspulen, mechanischer und magnetischer Trägheit und das ebenfalls die Ankerbewegung verzögernde Kippmoment werden durch einen vor die Unterbrecherspule geschalteten genau abgestimmten Kondensator derart kompensiert, daß Stromschluß und Stromunterbrechung genau in den Nullwerten der Wechselstrom - Netzspannungen erfolgen. Es wird dadurch erreicht, daß die Schließungsspannung auf ein tunlichst niedriges Maß gebracht und die Unterbrechung in den abfallenden Stromkurvenast verlegt wird. Obgleich die Unterbrechung im Nullwerte der Netzspannung erfolgt, erfolgt sie dennoch nicht im Nullwerte des Stromes, da die dem Induktor zugeführte Stromwelle durch die Selbstinduktion des Funkeninduktors eine Phasenverschiebung erfährt. Nach Verlegung der Unterbrechung in den ab-

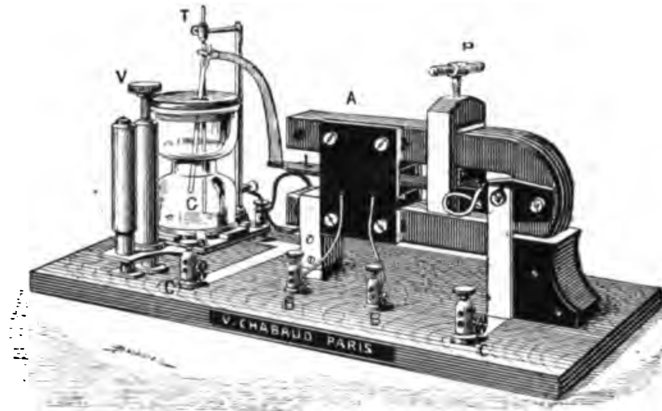

Figur 222.



Figur 223.

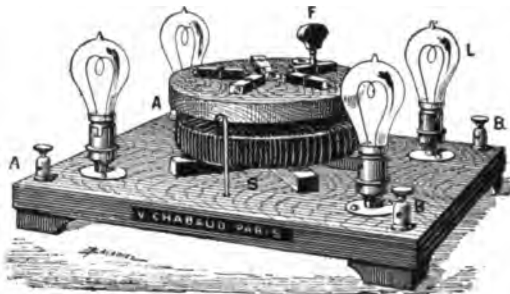
fallenden Stromkurvenast sind die Oeffnungsfunken an der Unterbrecherstelle auf ein Minimum gebracht, so daß mit einem und demselben Platinunterbrecher bei günstiger Dimensionierung des Funkeninduktors bei täglichem Betriebe viele Jahre gearbeitet werden kann. In Figur 223 ist der Unterbrecher schematisch dargestellt, *N* und *S* sind die Pole eines hufeisenförmig gebogenen permanenten Magneten, die den Anker *A* und das U förmige Weicheisenstück derart magnetisieren, daß Anker und Streupole sich mit ungleichnamigen Polen gegenüberliegen. *K* ist der Unterbrecherkontakt, *C* der vor die Relaisspulen geschaltete Kompensationskondensator.

Der auf S. 106 bis 107 beschriebene Villard-Chabaud'sche Stimmgabel-Unterbrecher kann auch mit Wechselstrom betrieben werden. Stimmt man nämlich die Stimmgabel auf die Periodenzahl des Wechselstromes ab, so wird der mit der Stimmgabel verbundene, durch den Spalt



Figur 224.

des ringförmigen Magneten führende Arm während einer Phase in das Quecksilber eintauchen, während er in der andern Phase die entgegengesetzte Richtung einschlägt. Daher wird während jeder Periode nur **eine** Unterbrechung stattfinden. Die Bewegung der Stimmgabel erfolgt zweckmäßig durch einen besonderen, aus demselben Leitungsnetze entnommenen Zweigstrom, während der Speisestrom durch ein besonderes Quecksilbergefäß fließt (Figur 224). Die von dem



Figur 226.

Leitungsnetz abgezweigte Leitung speist einen kleinen Transformator (Figur 225), dessen Sekundärwicklung mit dem Unterbrecher verbunden ist. Der transformierte Strom fließt beständig durch denjenigen Teil der Stimmgabel, der von dem Magneten umschlossen ist. Da aber der Strom in seiner Phase in bezug auf den primären Strom verschoben ist, so ist es möglich, eine solche Regelung zu erzielen, daß das Schließen des primären Stromkreises bei Beginn der Phase, die Unterbrechung dagegen im Maximum der Phase erfolgt.

Da dieser Unterbrecher die eine Phase vollständig unterdrückt, arbeitet er verhältnismäßig ökonomisch. Das Gleiche gilt von dem durch einen Synchronmotor angetriebenen Quecksilberstrahl-Unterbrecher.

Figur 226 zeigt die äußere Ansicht, Figur 227 einen Durchschnitt des Turbinen-Quecksilber-Unterbrechers für Wechselstrom der Allgemeinen Electrizitäts-Gesellschaft in Berlin. Der Unterbrechungsapparat ist genau derselbe wie bei dem früher beschriebenen Turbinen-Unterbrecher für Gleichstrom. Der Synchronmotor ist über dem Unterbrecher angeordnet und direkt mit der Turbinenwelle gekuppelt; er wird beim Anlassen durch ein Handrad in synchronen Lauf mit dem Betriebswechselstrom gebracht. Um den Stromschluß und die Unterbrechung in den richtigen Zeitmomenten, und zwar immer nur in der einen und zwar stets in derselben Phase bewirken zu können, ist das Polgehäuse des Motors drehbar gelagert; mittels Handgriffs wird es so lange hin und her gedreht, bis das Maximum der Wirkung eintritt. Das richtige Arbeiten des Unterbrechers erkennt man dann daran, daß eine am Motor angebrachte Glühlampe (Synchronismus-Anzeiger) erlischt. Diese Stellung läßt sich mit Hilfe eines als Schraube ausgebildeten Handgriffs festlegen und braucht nicht mehr geändert zu werden, wenn die Einstellung einmal richtig vorgenommen ist.

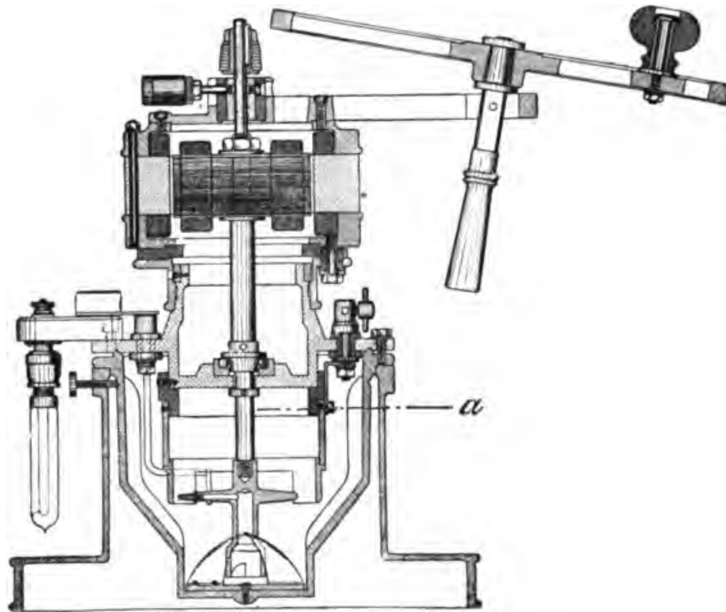


Figur 226.

Endlich sei auch noch der von Gaiffe konstruierte Wechselstrom-Unterbrecher, System Blondel, erwähnt, der sich durch leichte Inbetriebsetzung und automatische Synchronisation auszeichnet. Der hier zur Anwendung gelangende Motor ist vielpolig und läuft bei gleichgerichteten Strömen synchron. Er besteht aus einem von geblättertem Eisen mit Nuten

zur Aufnahme der Wicklungen versehenen ringförmigen Stator, ähnlich dem kleiner Induktionsmotore, und aus einem Rotor, der aus weichen Eisenstäbchen zusammengesetzt ist, die auf dem Umfang einer isolierenden, auf der Motorachse befestigten Scheibe verteilt wird.

Die Statorwicklung unterscheidet sich von jener der Induktionsmotoren dadurch, daß nur ein Zahn auf jeden Pol kommt, dementsprechend besitzt also die gewöhnlich für den Unterbrecher angewendete 8polige Type



Figur 227.

8 Zähne. Die experimentell bestimmte günstigste Breite der Eisenstäbe des Rotors beträgt etwa $^2/_3$ der Breite eines Statorpoles. Die Spulen des Stators sind in Serie geschaltet und vom Eisenkörper aufs sorgfältigste isoliert in Anbetracht der beträchtlichen Ueberspannungen, denen sie beim Anlaufen ausgesetzt werden können. Zur Unschädlichmachung dieser Ueberspannungen kann man auch der Wicklung einen Kondensator oder einen induktionslosen Widerstand (z. B. eine Glühlampe) parallel schalten. Die Motorachse ist direkt mit der Quecksilberturbine, die die übliche Konstruktion aufweist, gekuppelt.

Die Orientierung des Stators und Rotors zur Stellung der vier Kontaktstücke des Unterbrechers erfolgt in der Weise, daß bei Gleichstrombetrieb des Motors die günstigste Wirkung eingestellt wird.

Die automatische Synchronisation wird nun in sinnreicher Weise

dadurch erreicht, daß der angetriebene Unterbrecher selbst als stromrichtender Kommutator benutzt wird.

Zu diesem Zweck wird beim Einschalten Motor und Unterbrecher eventuell mit einem Widerstand in Reihe geschaltet. Erteilt man dann der Turbine einen Anstoß, so läuft der Apparat genau so als ein mit Gleichstrom betriebener Motor an. Die Geschwindigkeit vergrößert sich mehr und mehr, bis Synchronismus eintritt. Dies erkennt man an der Regelmäßigkeit des Unterbrechungsgeräusches. In diesem Augenblick schaltet man den Motor mittels eines kleinen Umschalters direkt an das Netz; er rotiert dann synchron weiter. Dieser ganze Anlaufprozeß, Einschalten und Eintreten des Synchronismus und Umschalten erfordert kaum 30 Sekunden, da bei dem Apparat jede mechanische Reibung vermieden ist.

Die vorstehend beschriebenen Unterbrecher für Wechselstrom sind in der Unterbrechungszahl von der Periodenzahl des Wechselstromes abhängig; dieselbe beträgt somit meist 50 in der Sekunde. Diese Unveränderlichkeit der Unterbrechungszahl der mechanischen Wechselstrom-Unterbrecher muß natürlich als ein großer Nachteil angesehen werden.

b) Flüssigkeits-Unterbrecher für Wechselstrom.

Für kleinere Induktoren ist der Wehnelt-Unterbrecher ohne weiteres auch bei Wechselstrom anwendbar, da er nicht nur als Unterbrecher, sondern gleichzeitig als Stromrichter wirkt. Er unterbricht nur die positiven Phasen, läßt dagegen die negativen Impulse hindurch, ohne sie zu unterbrechen. Dies ist allerdings eine Stromverschwendung. Nach dem Vorschlag von Swinton kann man, um beide Phasen auszunutzen, zwei Unterbrecher parallel schalten, die in bezug auf Stift und Plattenelektrode gekreuzt sind. Die primäre Spule des Induktors besitzt zwei getrennte Wicklungen. Jeder Unterbrecher ist nun mit einer dieser Wicklungen derart in Serie geschaltet, daß Wicklungssinn der Spulen entgegengesetzt ist. Die eine Stromphase wird nun von dem einen Unterbrecher, die andere von dem anderen unterbrochen. Beide Unterbrechungsserien wirken auf den Eisenkern und somit auch auf die Sekundärwicklung im gleichen Sinn, so daß tatsächlich beide Stromphasen ausgenutzt werden. Bei größeren Induktoren sind außerdem die Schließungsfunken zu stark ausgeprägt und müssen deshalb bei Anwendung für Roentgenstrahlenerzeugung durch Einschaltung von Funkenstrecken oder Drosselröhren in den sekundären Stromkreis vermindert werden. Schließlich ist der Platinverbrauch beim Wechselstrombetriebe ein recht beträchtlicher; man wendet daher in neuerer Zeit fast ausschließlich Nickelstifte an. Damit bei diesen infolge des relativ schnellen Abbrandes die aktive Stiftoberfläche nicht dauernd nachreguliert

werden muß, wendet man zweckmäßig eine automatische Einstellvor richtung auf konstante aktive Länge an, wie Figur 228 zeigt. Der Stift kann dabei mittels einer Verstellvorrichtung auf jede beliebige aktive Länge eingestellt werden.

Die Nickelstifte sind je 30 cm lang und an beiden Enden mit Gewinde versehen, so daß auf einen teilweise verbrauchten ein neuer aufgeschraubt und somit jeder Stift in seiner ganzen Länge verwendet werden kann.

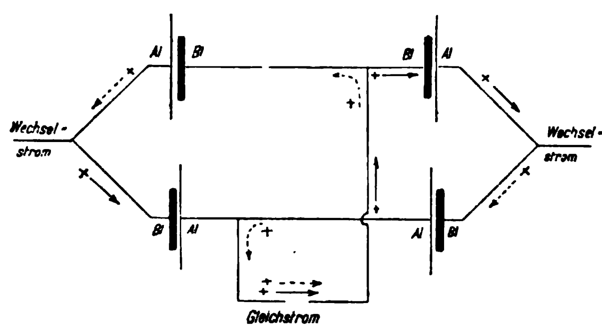
Auch der Loch-Unterbrecher ist bei Wechselstrom anwendbar, jedoch unterbricht er in beiden Stromphasen und ist aus diesem Grunde für Roentgenzwecke nicht ohne weiteres geeignet. Soll er nur eine Stromphasenreihe unterbrechen, so muß man ihn mit einer Strom-Gleichrichtevorrichtung, am einfachsten einer elektrolytischen, kombinieren. Eine solche beruht auf der Ventilwirkung einer Aluminiumelektrode. Die älteste Vorrichtung dieser Art besteht aus einer mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten elektrolytischen Zelle, welche eine Blei- und eine Aluminiumplatte als Elektroden enthält. Eine solche Zelle besitzt eine scheinbare Polarisationsspannung von ca. 20 Volt (Grätz und Pollak 1897), welche nach den Untersuchungen von Streintz der Bildung eines Uebergangswiderstandes durch eine schlecht leitende dünne Oxydschicht zuzuschreiben ist. Durch geeignete Wahl der Elektrolyten kann man derartige Gleichrichtezellen herstellen, welche bis zu mehreren Hundert Volt polarisieren. Verfasser dieses hat seinen Plättchen-Unterbrecher (vergl. S. 147) in der Weise modifiziert, daß an Stelle der Schwefelsäure ein anderer Elektrolyt und an Stelle der einen Bleielektrode eine Aluminiumelektrode verwendet wird. Der Plättchen-Unterbrecher unterbricht dann nur in der einen Phase und bildet gleichsam eine Gleichrichtezelle in sich selbst, so daß er ohne weiteres auch zu Roentgenzwecken bei Wechselstrombetrieb benutzt werden kann. Diese Form des Unterbrechers funktioniert bei hohen Betriebsspannungen (220 Volt) sehr gut. Will man einen gewöhnlichen, mit Schwefelsäure gefüllten Loch-Unterbrecher benutzen, so muß man eine oder mehrere besondere Gleichrichtezellen vorschalten. Verfasser dieses hat derartige Zellen konstruiert und ausgeführt, die sich recht gut bewährt haben. Dieselben bestehen aus mehreren parallel geschalteten Blei- und Aluminiumplatten, die sich in einem Glasgefäß



Figur 228.

mit geeigneten Salzlösungen befinden. Nur diejenige Stromphase wird durchgelassen, bei welcher die Aluminiumelektrode Kathode ist. Aehnlich konstruiert ist der Nodon'sche Gleichrichter. Derselbe besteht aus einer zylinderförmigen Eisenelektrode, die durchlöchert ist und in ihrem Innern einen aus einer Zink-Aluminiumlegierung bestehenden Zylinder enthält. Beide Elektroden befinden sich in einem Gefäß mit einer gesättigten Lösung von Ammoniumphosphat. Dieser Gleichrichter polarisiert bis zu 140 Volt.

Hierher gehört endlich auch der Grisson-Gleichrichter, der häufig in Verbindung mit Roentgeneinrichtungen nach Dr. Walter und Albers-Schönberg zur Anwendung gelangt. Durch geeignete Schaltung mehrerer Gleichrichtezellen kann man auch beide Phasen des Wechselstromes ausnutzen. Figur 229 zeigt eine diesbezügliche von Grätz angegebene Schaltung. Für Wechselstrom braucht man vier, für Drehstrom sechs Gleichrichtezellen.



Figur 229

Die Regulierbarkeit der Flüssigkeits-Unterbrecher bei Wechselstrom ist etwas geringer als bei Gleichstrombetrieb. Gegenüber den mechanischen Wechselstrom-Unterbrechern besitzen sie den Vorteil der Einfachheit in Konstruktion und Betrieb, auch ist die Unterbrechungszahl nicht wie bei den mechanischen Wechselstrom-Unterbrechern ausschließlich gleich der Wechselstromperiodenzahl, sondern kann ein vielfaches derselben betragen, wenn jede Phase mehrere Male unterbrochen wird. Für Roentgenzwecke genügen die Flüssigkeits-Unterbrecher in Verbindung mit Gleichrichtezellen recht hohen Anforderungen.

Ehe wir diesen Abschnitt verlassen, mögen noch einige Angaben über die

Reinigung des Quecksilbers

folgen, welche bei den Quecksilber-Unterbrechern von Nutzen sein könnten. Das mit Petroleum oder Paraffinöl verschlammte Quecksilber wird zunächst mit Benzin, dann mit heißer Sodalösung gut ausgewaschen. Darauf spült man mit Wasser nach und trocknet mit Fließpapier. Schließlich wird das so vorbehandelte Quecksilber durch einen reinen Lederlappen gepreßt. Das mit Alkohol verschlammte Quecksilber wird nur mit Wasser ausgewaschen, dann mit Fließpapier getrocknet und durch Leder gepreßt

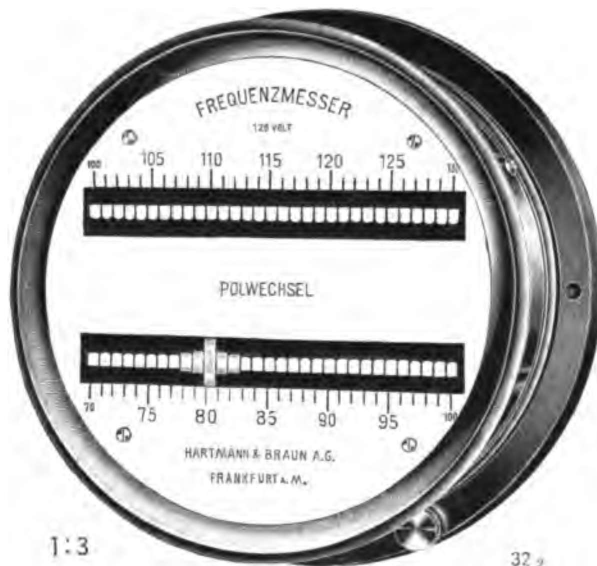
Siebentes Kapitel.

Methoden zur Ermittlung der Unterbrechungszahl und der Stromkurvenform in der primären und sekundären Wicklung eines Induktors.

In manchen Fällen ist es wünschenswert, in möglichst einfacher Weise genau festzustellen, wie oft der primäre Strom eines Induktors durch einen Unterbrecher unterbrochen wird.

Bei den mechanischen Unterbrechern mit Motorantrieb, die neben den Flüssigkeits-Unterbrechern fast ausschließlich in Frage kommen, bereitet eine derartige Feststellung im allgemeinen keine besonderen Schwierigkeiten, weil man beispielsweise bei einem Turbinen-Unterbrecher aus der mittels Tachometers bestimmten Umdrehungszahl des Antriebsmotors und der Zahl der Unterbrechungen pro Umdrehung desselben leicht die sekundliche Unterbrechungszahl berechnen kann.

Bequemer ist es natürlich, sich eines sogenannten Frequenzmessers zu bedienen, der auch zur Bestimmung von Unterbrechungszahlen geeignet ist und die direkte Ablesung derselben an einer Skala gestattet. Dieses direkte Verfahren hat den Vorteil, daß es sich bei allen mechanischen Unterbrechern anwenden läßt, während die oben beschriebene indirekte Methode bei den Unterbrechern ohne Motorantrieb natürlich versagt. Ein solcher Frequenzmesser (Figur 230) besteht aus einer Reihe auf aufeinanderfolgende Schwingungszahlen (ähnlich wie die Saiten eines Klaviers) abgestimmter Federn, die skalenartig nebeneinander angeordnet sind und durch den zu

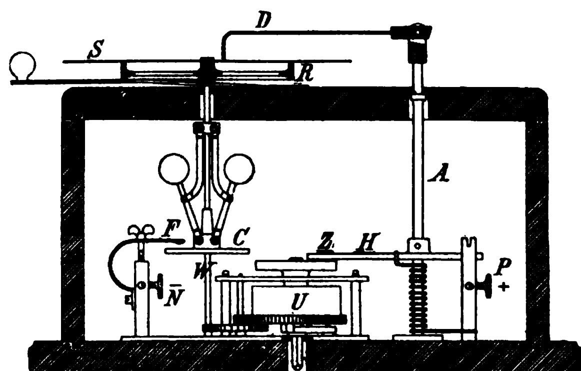


Figur 230

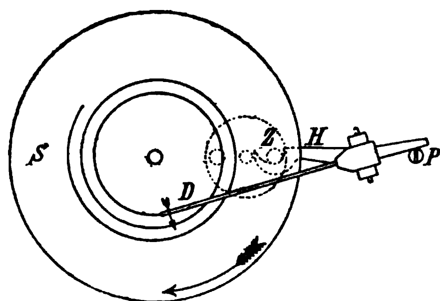
untersuchenden Strom elektromagnetisch in Schwingungen versetzt werden. Infolge Resonanzwirkung wird derjenigen Feder, deren Eigenschwingung mit der Frequenz der elektromagnetischen und damit elektrischen Impulse übereinstimmt, die größte Amplitude erteilt, während die anderen Federn nur in erzwungene Schwingungen versetzt, fast in Ruhe bleiben.

Leider stellt ein solcher Frequenzmesser keinen Universalapparat für alle Fälle dar, er versagt, wenn die Unterbrechungen unregelmäßig aufeinander folgen, wie z. B. bei den Flüssigkeits-Unterbrechern. Für diesen Fall hat der Verfasser einen einfachen Apparat konstruiert, der sich sehr gut bewährt hat und natürlich auch bei anderen Unterbrechern angewendet werden kann

Die Anordnung ist eine Modifikation der von W. König angewendeten Methode zur Bestimmung langsamer elektrischer Schwingungen. Eine kreisrunde ebene Scheibe *S* (Figur 231 und 232) von Metallblech ist auf ihrer oberen Seite und am Rande mit geschellacktem Papier beklebt. Diese Oberseite der Scheibe wird gleichmäßig mit Lycopodium bestäubt. Hiernach wird die bestäubte, gelbgraue Scheibe auf den Rand eines rotierenden Rädchens *R* gelegt, welches am Ende einer senkrecht stehenden Welle *W* befestigt ist. Diese Welle wird durch ein Uhrwerk *U* in Rotation versetzt, an welcher die mit Lycopodium bestäubte Scheibe teilnehmen muß. Durch einen auf der senkrechten Welle befindlichen Zentrifugalregulator, eine an diesem sitzende Scheibe *C* und die verstellbare Feder *F* kann die Umdrehungsgeschwindigkeit der Lycopodiumscheibe zunächst beliebig eingestellt werden, wird aber, einmal eingestellt, vom Regulator selbsttätig auf dieser Geschwindigkeit gehalten, solange das Uhrwerk aufgezogen ist. Die Umdrehungszahl wird mittels Tachometers bestimmt.



Figur 231.



Figur 232.

Auf der rotierenden Lycopodiumscheibe schleift durch sein eigenes Gewicht ein an der Spitze abgerundeter Drahthaken *D*, welchem durch eine Achse *A* mit daran befestigtem Haken *H* von der Federwelle des Uhrwerks aus mittels des Zapfens *Z* eine Bewegung in Richtung des kleinen Pfeils (Figur 232) erteilt wird. Während dieser langsamen und gleichförmigen Bewegung des Drahthakens vom Mittelpunkt der Scheibe nach deren Rand dreht sich die Scheibe selbst mit großer Geschwindigkeit in der Richtung des großen Pfeiles; es wird so erreicht, daß die Drahthakenspitze in dem Lycopodiumstaub der Scheibe eine Rinne in Form einer Spirale zieht. Diese Spirale erscheint als gleichmäßig schwarze Linie auf gelbgrauem Grunde. Verbindet man vor dem Gebrauch die Klemme *P* mit dem positiven Pol, die Klemme *N* mit dem negativen Pol des arbeitenden



Figur 233.

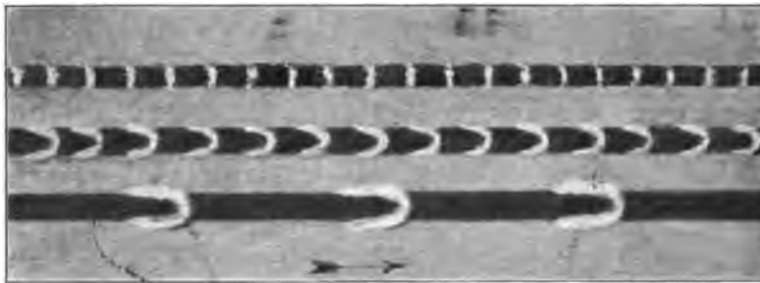
Unterbrechers, so bildet die nunmehr vor dem Drahthaken *D* gezeichnete Spirallinie keine gleichmäßig schwarze Linie mehr, sondern sie wird von vielen Lycopodiumhäufchen von sonderbarer Form unterbrochen. Figur 233 zeigt eine solche Scheibe in verkleinertem Maßstabe nach einer photographischen Aufnahme. Jedes Lycopodiumhäufchen entspricht einer Unterbrechung des Stromes im Unterbrecher und es lassen sich aus der Anzahl der Häufchen und der Tourenzahl der Scheibe die Unterbrechungen pro Sekunde leicht und recht genau ermitteln.

Die Entstehung der Lycopodiumhäufchen ist auf dieselben Ursachen zurückzuführen wie die der Lichtenberg'schen Staubfiguren.

Figur 234 zeigt den Einfluß der in dem Stromkreis enthaltenen Selbstinduktion auf die Ausprägung der Häufchen. Je größer die Selbstinduktion, um so besser prägen sich die Häufchen aus.

Man wird sich daher dieser Methode zur Bestimmung der Unterbrechungszahl überall da mit Vorteil bedienen können, wo die in dem Stromkreise enthaltene Selbstinduktion nicht zu gering ist.

Bei sehr hohen Unterbrechungszahlen (5000 und mehr pro Sekunde) versagen alle angeführten Methoden; es kommen dann zunächst photographische Methoden zur Anwendung und wenn auch diese versagen, die



Figur 234.

Methode der elektrischen Resonanz (Wellenmesser). Da aber derartig hohe Unterbrechungszahlen beim praktischen Betrieb eines Funkeninduktors keine Rolle spielen, so können wir diese Verfahren an dieser Stelle übergehen.

Bedeutend komplizierter sind die verschiedenen Methoden zur Untersuchung des Verlaufs der in der primären beziehungsweise sekundären Wicklung eines Induktors auftretenden Ströme, beziehungsweise Spannungen, über die im folgenden ein kurzer Ueberblick gegeben werden soll.

In der Elektrotechnik bedient man sich zum Studium veränderlicher Ströme fast ausschließlich sogenannter Oszillographen nach Blondel oder Duddell, das sind Galvanometer mit geringer Trägheit und sehr kleiner Eigenperiode, die verhältnismäßig schnellen Stromstärkeänderungen noch zu folgen vermögen. Mit dem beweglichen Teil des Galvanometers ist ein Spiegel verbunden, der ein schmales Lichtbündel reflektiert. Beobachtet man dieses reflektierte Lichtbündel, dessen Ausschlag der Drehung des Spiegels und damit der jeweiligen das Galvanometer durchfließenden Stromstärke proportional ist, in einem rotierenden Spiegel, dessen Achse

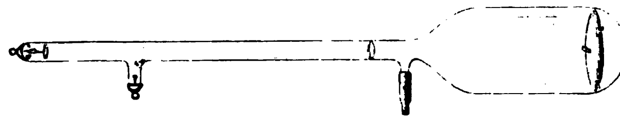
in der Ebene liegt, in der die Ablenkungen erfolgen, so sieht man in demselben die Stromkurve als helle Linie und senkrecht zu jener verlaufen.

Wünscht man die Stromkurve zu fixieren, so wird das reflektierte Lichtbündel mittels Linse auf eine lichtempfindliche Platte (oder Film) konzentriert, die in einer zur Ablenkungsebene senkrechten Richtung bewegt wird. Nach Entwicklung erhält man dann die betreffende Stromkurve als schwarze Linie.

Sofern es sich um periodische Stromkurven handelt, wie z. B. in dem Fall der meisten mechanischen Unterbrecher, kann man übrigens auch die Spiegelkurve direkt photographieren, wenn man dafür sorgt, daß dieselbe immer an derselben Stelle erscheint, also stillsteht. Bei Wechselstromkurven genügt es hierfür, einen durch einen Synchronmotor angetriebenen rotierenden Spiegel anzuwenden. In allen anderen Fällen ist es aber sehr schwer, ja fast unmöglich, die hierfür erforderliche Umdrehungsgeschwindigkeit des Spiegels genau einzustellen, beziehungsweise aufrecht zu erhalten; in gewissen Fällen, z. B. bei der Untersuchung der Stromkurven von rotierenden Unterbrechern, wie Quecksilberstrahl-, beziehungsweise Ring-Unterbrecher, kann man sich allerdings dadurch helfen, daß man den rotierenden Spiegel direkt auf die Unterbrechungsachse setzt (z. B. des Turbinen-Unterbrechers).

Da diese Oszillographen verhältnismäßig komplizierte und auch sehr kostspielige Apparate sind, so wollen wir hier auf deren Konstruktion nicht näher eingehen, sondern uns den verhältnismäßig einfacheren und auch wohlfeileren, den gleichen Zwecken dienenden Hess-Braunschen und den Glimmlichtoszilloskopen-Röhren zuwenden, die vielfach bei elektrophysikalischen Beobachtungen Anwendung finden.

Die Hess-Braun'sche Röhre, die sich speziell für die Untersuchung der primären Stromkurve eignet, stellt eine speziell konstruierte Kathodenstrahlröhre dar, deren Gestaltung Figur 235 erkennen läßt. Die bei Speisung der Röhre mit hochgespanntem Gleichstrom (Influenzmaschine) von der



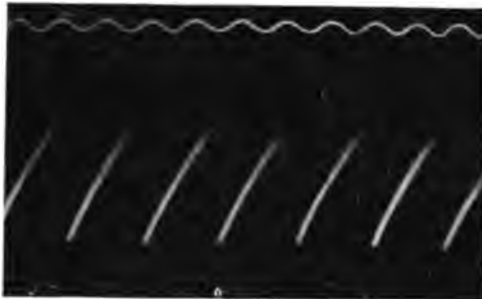
Figur 235.

Kathode ausgehenden, sich gradlinig fortpflanzenden Kathodenstrahlen werden durch eine kleine Blende abgeschnürt, so daß nur ein dünnes Kathodenstrahlenbündel auf den in einem erweiterten Teil der Röhre eingesetzten, mit wolframsaurem Kalzium bestrichenen Glimmerschirm auftrifft und auf demselben einen Fluoreszenzfleck hervorruft, der auch auf

der Rückseite des Schirmes beobachtet werden kann. Ordnet man nun eine derartige Röhre zwischen zwei koachsiale Elektromagnetspulen in der Weise an, daß die Spulenachse auf der Röhrenachse senkrecht steht und dieselbe dicht hinter der Blende (also zwischen Blende und Schirm) schneidet, so wird das Kathodenstrahlenbündel und damit auch der Fluoreszenzfleck auf dem Schirm proportional der Intensität des magnetischen Feldes und damit der die Spulen durchfließenden Stromstärke in einer senkrecht zur Röhren- und Spulenachse verlaufenden Richtung abgelenkt.



Figur 236.



Figur 237

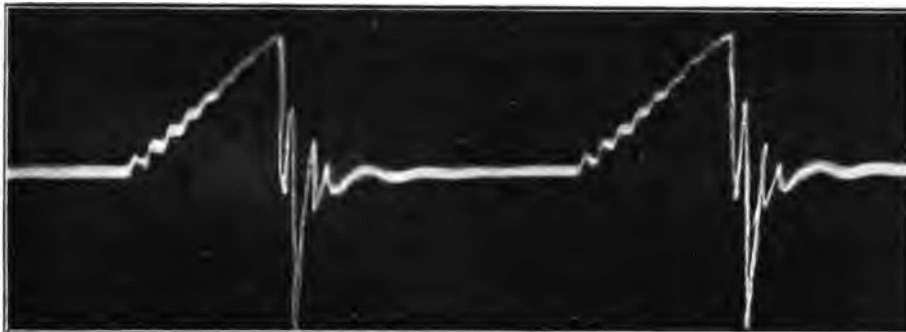
Die Bewegungen des Fluoreszenzfleckes können mittels rotierenden Spiegels beobachtet oder auf einer bewegten photographischen Schicht fixiert werden, genau wie bei den eingangs erwähnten Oszillographen. Das Kathodenstrahlenbündel spielt hier die Rolle des schwingenden Systems jener Apparate, seine Trägheit ist in geradezu genialer Weise auf ein Minimum reduziert. Figuren 236 und 237 zeigen zwei von A. Wehnelt und B. Donath in dieser Weise aufgenommene Stromkurven eines Deprez- und Wehnelt-Unterbrechers.

Der Deprez - Unterbrecher hat etwas unregelmäßig funktioniert. Sehr deutlich ersieht man, wieviel Zeit zwischen einer Unterbrechung und einem neuen Stromschluß vergeht (Ruhepause). Der Stromabfall beim Oeffnen erfolgt ziemlich schnell, so daß das betreffende Stück der Kurve infolge der größeren Geschwindigkeit des Fluoreszenzfleckes sehr lichtschwach ausfiel. Die Wehnelt-Unterbrecher-Kurve ist geradezu ideal, der Stromabfall erfolgt äußerst rapide. Die zwischen zwei Unterbrechungsvorgängen liegende Zeit ist fast null, so daß der Fußpunkt des einen Anstiegs fast senkrecht unter dem Gipfelpunkt des vorhergehenden liegt. Die über den Aufnahmen sichtbare Kurve wurde gleichzeitig mittels einer Stimmgabel mit 100 Schwingungen pro Sekunde aufgenommen; sie ge-

stattet eine genaue zeitliche Auswertung der Stromkurvenelemente. Figuren 238 und 239 zeigen die entsprechenden Kurven für einen Wechselstrom-Platin-Unterbrecher nach Koch, und zwar ist Figur 238 ohne

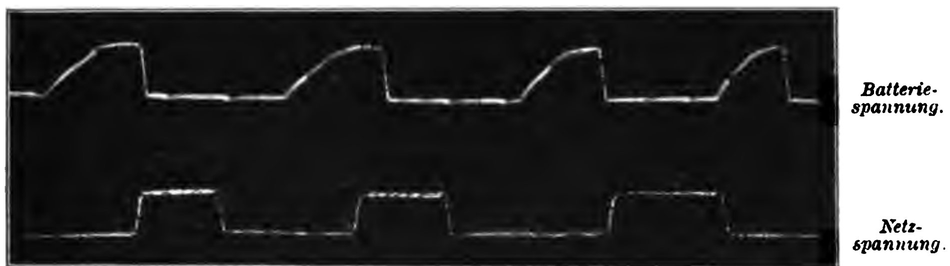


Figur 238



Figur 239.

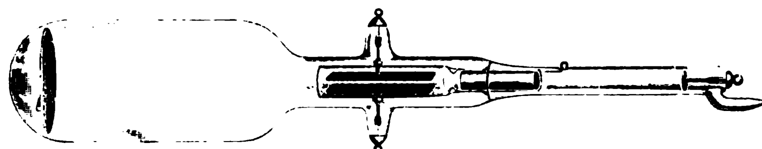
sekundären Funkenüberschlag, Figur 239 mit sekundärem Funkenüberschlag aufgenommen. In Figur 240 endlich sind zwei vom Verfasser aufgenommene



Figur 210.

Stromkurven eines Quecksilberstrahl-Unterbrechers wiedergegeben, aus denen man deutlich den Einfluß der Spannung auf den Stromanstieg erkennen kann.

Figur 241 zeigt eine Modifikation der Röhre nach Wehnelt, bei der die Beeinflussung des Kathodenstrahlenbündels nicht elektromagnetisch,



Figur 241.

sondern statisch erfolgt. Zu diesem Zwecke sind innerhalb der Röhre, unmittelbar hinter der Blende, zwei Metallplatten eingeschmolzen, die eine Art Kondensator bilden. In dieser Form dient die Röhre zur Feststellung des Spannungsverlaufs.

Noch einfacher als die beschriebene Kathodenstrahlenröhre ist die zuerst von Gehrcke angegebene Glimmlichtoszilloskopenröhre zur Beobachtung der hochgespannten sekundären Stromkurve. Sie besteht in der vom Verfasser angegebenen vereinfachten und zugleich verbesserten Ausführungsform, aus einer einfachen zylindrischen Geißlerröhre mit achsialen, sich nahe gegenüberstehenden Drahtelektroden (Figur 242). Ihre Wirkungsweise beruht auf der merkwürdigen von Hehl und Wilson festgestellten Gesetzmäßigkeit, daß das negative Glimmlicht an der Kathode einer Geißlerröhre so lange eine der Stromstärke proportionale Fläche bedeckt, als es die Kathode noch nicht ganz überzieht.



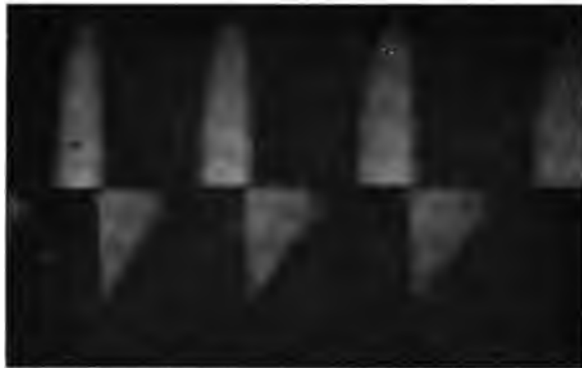
Figur 242.

Besteht also wie in vorliegendem Fall die Kathode aus einem Draht, so wird derselbe in einer der Stromstärke proportionalen Länge von Glimmlicht überzogen. Die Trägheit der Glimmlichthülle ist nach den Untersuchungen von W. Lessing so gering, daß sie bisher überhaupt nicht nachweisbar war.

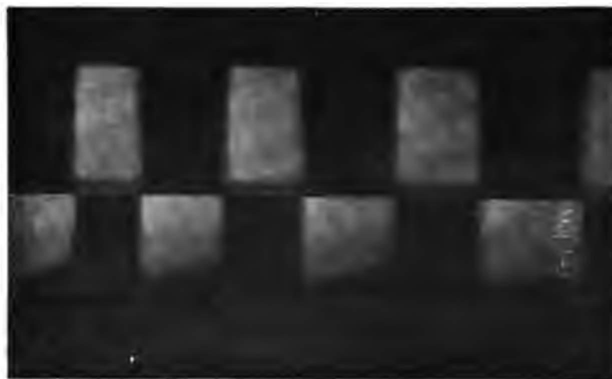
Um also den sekundären Induktionsstrom zu untersuchen, braucht man denselben nur durch die Röhre zu schicken und sich die Erscheinung in einem rotierenden Spiegel anzusehen, dessen Achse der Achse der Oszillographenröhre parallel verläuft. Man erblickt dann die zeitlich aufeinander folgenden Phasen des Stromverlaufs räumlich nebeneinander. Die gewünschte Stromkurve bildet die Begrenzungslinie der Glimmlichtflächen.

Man kann die Kurven auch auf einer bewegten photographischen Schicht fixieren, wie Verfasser zuerst ausgeführt hat.

In Figuren 243 und 244 sind als Beispiele derartiger Aufnahmen die sekundären Stromkurven eines Funkeninduktors mittlerer Größe bei Betrieb der primären Spule mit Hammer-Unterbrecher (Figur 243) und mit Queck-



Figur 243



Figur 244

silberstrahl-Unterbrecher (Figur 244) dargestellt. Man erkennt an beiden Figuren den typischen Stromverlauf, einen mehr oder weniger langsamen Anstieg und einen fast momentanen Abfall der Stromstärke.

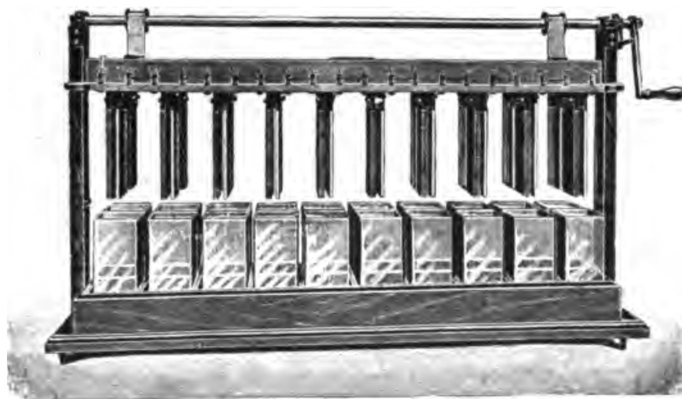
Achtes Kapitel.

Stromquellen.

1. Tauchbatterien.

Ueberall da, wo ein elektrischer Anschluß an eine Licht- oder Kraftzentrale nicht vorhanden ist und die Gelegenheit zum Laden von Akkumulatoren fehlt, muß man sich mit der Erzeugung des elektrischen Stromes mittels Primärbatterie behelfen. Derartige Fälle sind verhältnismäßig selten so daß dieser Fall nur kurz erörtert zu werden braucht. Es können hierbei nur diejenigen Elemente Verwendung finden, welche große Energiemengen zu liefern imstande sind. Aus diesem Grunde kommen fast nur die Chromsäure-Tauchbatterien in Frage. Die Benutzung der Flüssigkeits-Unterbrecher ist von vornherein ausgeschlossen; mit Rücksicht auf die nur geringen Energiemengen und hohen Stromkosten kommen zum Betriebe nur die Platin-Unterbrecher, Quecksilber-Unterbrecher und günstigsten Falles die Motor-Quecksilber-Unterbrecher in Betracht.

Die Chromsäureelemente bestehen aus Kohle und Zinkplatten, die in eine Lösung von doppelchromsaurem Kali eintauchen. Die Kohle bildet den positiven, das Zink den negativen Pol des Elementes. Um die Oberfläche der Zinkplatte voll auszunutzen, wird sie meist von zwei



Figur 245.

Kohleplatten eingeschlossen. Bei Nichtbenutzung werden die Platten aus der Flüssigkeit herausgenommen. Eine dazu besonders bequeme Vorrichtung an einer Batterie von 20 Elementen, wie solche Max Kohl in Chemnitz liefert, zeigt Figur 245.

Die Flüssigkeit zum Füllen der Batterie stellt man sich her, indem 70 g pulverisiertes saures chromsaures Kali allmählich in 80 ccm Schwefelsäure von 1,836 spezifischem Gewicht eingetragen und in einer Reibschale gut verrieben werden. Dieser Mischung wird 0,85 Liter Wasser vorsichtig in dünnem Strahl zugesetzt. Man erhält so 1 Liter Füllflüssigkeit. Sobald diese Lösung dunkelgrün geworden ist und nicht mehr wirkt, muß sie, nachdem die Batterie gut gereinigt wurde, erneuert werden. Die Kohlen sind mit heißem Wasser abzuwaschen, die Zinke neu zu amalgamieren, die Kontakte blank zu machen. Bei einer solchen Batterie beträgt die Spannung pro Element anfänglich 2 Volt, jedoch sinkt sie bei Stromentnahme infolge eintretender Polarisation auf 1,6 Volt und darunter, so daß man nur mit einer mittleren Spannung von 1,5 Volt rechnen darf. Hiernach ergibt sich die zum Betriebe des Induktors nötige Anzahl von Zellen. Die Größe der Zellen richtet sich nach der Stromstärke und Betriebsdauer des Induktors.

In jedem Falle ist eine solche Primärbatterie nur ein Notbehelf, sie ist jeder anderen Stromquelle im Punkte der Kosten, der Bequemlichkeit und Betriebssicherheit unterlegen und wird nur dann anzuwenden sein, wenn keine andere Elektrizitätsquelle zu haben ist.

2. Akkumulatoren.

Die Akkumulatoren bilden eine bequeme und zuverlässige Stromquelle für den Betrieb von Funkeninduktoren. Da eine Akkumulatorenbatterie durch zu starke Beanspruchung leidet, so wird es zweckmäßig sein, die Batterie möglichst groß zu nehmen. Je größer die Platten des Akkumulators sind, um so größer ist die maximale Stromstärke, welche dem Akkumulator entnommen werden kann. Unter der Kapazität eines Akkumulators versteht man das Produkt aus dieser maximalen Entladungsstromstärke und der Dauer der Entladung. Diese von den Akkumulatorenfabriken angegebene maximale Entladungsstromstärke sollte nie überschritten werden, andernfalls wird die Lebensdauer des Akkumulators sehr verkürzt. Für den Betrieb von Induktoren können die einzelnen Akkumulatoren, zu einer Batterie verbunden, in einem gemeinsamen Holzkasten untergebracht sein, der mit Traggriffen und Polklemmen versehen ist. Zur Kontrolle des Ladungszustandes (Spannung) ist ein Voltmeter unentbehrlich.

a) Blei-Akkumulatoren.

Die gebräuchlichsten Akkumulatoren sind die Bleiakkumulatoren, von denen meist die positive Bleisuperoxyd-Platte eine Masseplatte, die negative Bleiplatte eine Gitterplatte ist. Die Platten stehen in mit verdünnter Schwefelsäure (chemisch rein) vom spezifischen Gewicht 1,2 gefüllten Gläsern oder

Gefäßen von Hartgummi oder Zelluloid. Letztere sind wegen ihrer größeren Haltbarkeit für transportable Batterien vorzuziehen. Jede Zelle im geladenen Zustand besitzt eine Spannung von etwa 2 Volt. Sinkt die Spannung bis auf 1,75 Volt, so muß mit der Entladung innegehalten und der Akkumulator neu geladen werden. Im Falle der längeren Nichtbenutzung muß die Batterie stets geladen aufbewahrt werden, verdunstete Säure ist durch destilliertes Wasser zu ergänzen, so daß die Platten stets ganz von der Flüssigkeit bedeckt sind.



Figur 246.

In Figur 246 ist eine derartige Akkumulatorenbatterie von Ferdinand Ernecke in Berlin abgebildet. Dieselbe enthält vier hintereinander geschaltete Zellen, besitzt also eine Klemmenspannung von 8 Volt.

Der Vollständigkeit wegen seien auch die weniger gebräuchlichen Edison - Akkumulatoren angeführt.

b) Eisen-Nickel-Akkumulator.

Das Charakteristische im Aufbau dieser Zellen besteht in der ausschließlichen Verwendung von stark vernickeltem Eisenblech für die Träger der aktiven Masse sowohl, wie für die den Plattensatz umschließende Kanne, während als Isoliermaterial Hartgummi, als Elektrolyt Kalilauge benutzt ist.

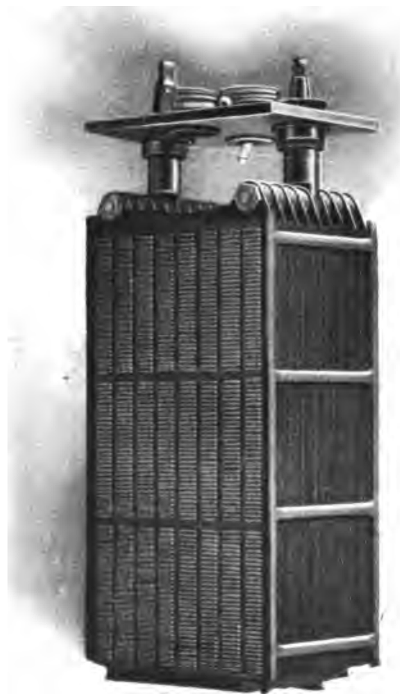
Wie Figur 247 zeigt, ist die äußere Form der Edisonzelle rechteckig. Die eiserne Kanne ist zur Erlangung größerer Steifigkeit an den Seiten gewellt, die Nähte sind geschweißt. Im Innern der Kanne befinden sich eine Anzahl vernickelter eiserner Gitter, deren Ausspannungen zur Aufnahme aus dünnem Eisenblech angefertigter, aus je zwei Hälften bestehender Taschen dienen. Letztere enthalten die eigentliche wirksame Masse, die im wesentlichen bei den Platten positiver Polarität aus Nickeloxyd, bei den Platten negativer Polarität aus Eisenoxyd besteht. Die Taschen sind durchlöchert, um dem Elektrolyt den Zutritt zur aktiven Masse zu ermöglichen.

Sie werden unter hohem Druck in die Platten eingesetzt und sind daher in ihrer Lage unverrückbar festgehalten. Letztere stehen, durch Verbindungsbolzen vereinigt, auf einem aus Hartgummi gefertigten Untersatz. Der Aufbau eines kompletten Plattensatzes geht aus Figur 248 deutlich hervor. Die nötige Trennung der Platten ungleicher Polarität wird durch eingeschobene Hartgummistäbe erhalten. Für die Strom-Zu- und Ableitung dienen zwei die Platten überragende Polbolzen. Diese führen, mittels Stoffbüchse und Weichgummiringe abgedichtet, durch Hartgummi isoliert, nach außen und tragen Polschuhe, die durch Muttern festgehalten werden. Ein anhaltend sicherer Kontakt zwischen Polbolzen und Polschuh ist dadurch gelöst, daß beide mit genau passendem Konus versehen sind.

Zur Verbindung benachbarter Zellen sind in die Polschuhe vernickelte



Figur 247

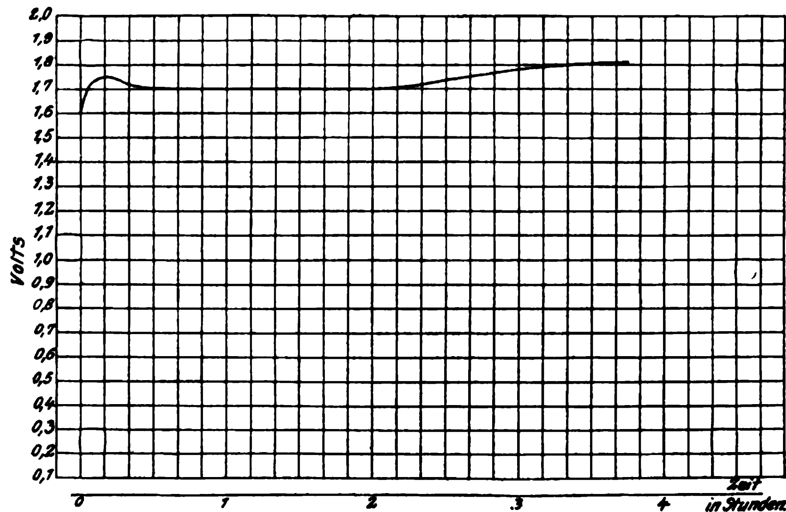


Figur 248.

Kupferstäbe eingesetzt. Die Endpolschuhe erhalten seitliche Ausbohrungen, in denen die Zuleitungen durch Kontaktschrauben befestigt werden.

Zum Füllen und Entleeren trägt der Deckel eine Oeffnung, welche ihrerseits mit aufklappbarer Kappe versehen ist; dieselbe ist gegen die Oeffnung durch Weichgummi abgedichtet und wird durch eine Feder selbsttätig hochgeklappt, sobald ein am Deckel befindlicher Riegel gelockert wird. Die Kappe der Füllöffnung ist gleichzeitig als Ventil ausgebildet, das dazu dient, den bei der Ladung sich entwickelnden Gasen Austritt zu verschaffen.

Das Ventil enthält eine kleine Glaskugel, deren Hub durch den Oberteil des Ventilkörpers begrenzt ist. Der Oberteil ist mit Gewinde in den Unterteil eingesetzt und kann durch Linksdrehung abgeschraubt werden. Nach außen ist das Ventil durch einen lose auf dem Oberteil befestigten Deckel verschlossen. Letzterer ist an seinem äußeren Rande mit einer Vertiefung versehen, die zur Aufnahme einer aus Rundstahl hergestellten Feder dient und deren umgebogene Enden durch zwei im Deckel befindliche Löcher hindurchführen. Die Feder greift mit den beiden Enden in eine Nute des oberen Ventilkörpers ein, die so bemessen ist, daß die Feder und damit



Figur 249.

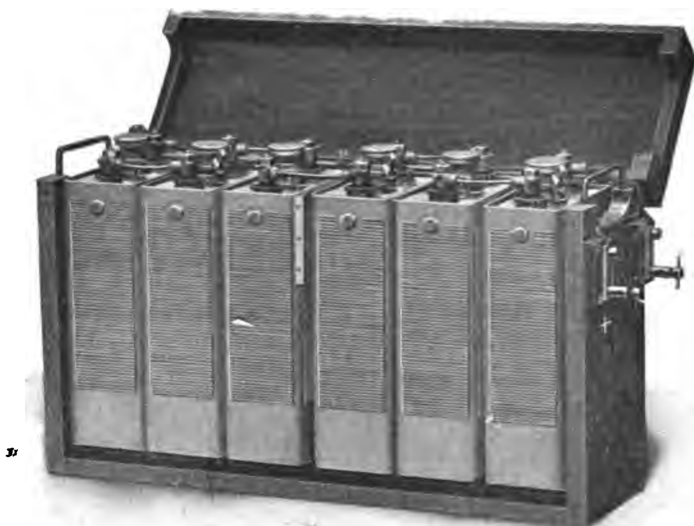
auch der Deckel etwas Spiel erhält. Die bei der Ladung der Zelle sich entwickelnden Gase treten nach Anheben der Glaskugel in den unteren Ventilkörper ein und stoßen hier zunächst gegen den Boden des mit einer kleinen Oeffnung versehenen Oberteils. Ein Teil der durch die Gase mitgerissenen Flüssigkeitsteile wird hier abgeschieden, ein Teil gelangt noch mit in den oberen Ventilkörper. Die Gase treffen den lose aufliegenden

Deckel, lüften diesen und treten schließlich ins Freie, während der Rest der Flüssigkeitsteile am Deckel haften bleibt und in den Ventilkörper beziehungsweise in die Zelle zurücktropft.

Der Ventildeckel kann zwecks Revision des Ventils leicht entfernt werden durch Herausbiegen der oben erwähnten Stahlfeder. Zur Freilegung der Glaskugel ist es nötig, auch den oberen Ventilkörper abzuschrauben.

Die Ladung hat mit der jeweilig vorgeschriebenen Ladestromstärke zu erfolgen, die jedoch auch beliebig niedriger gehalten werden kann.

Am Ende der Ladung (vergl. die Ladungs-Charakteristik Figur 249) beträgt die Spannung der Zelle ca. 1,8 Volt. Bei normaler Ladestromstärke genügt in der Regel eine Ladezeit von $3^3/_4$ Stunden zur Aufladung der Batterie.

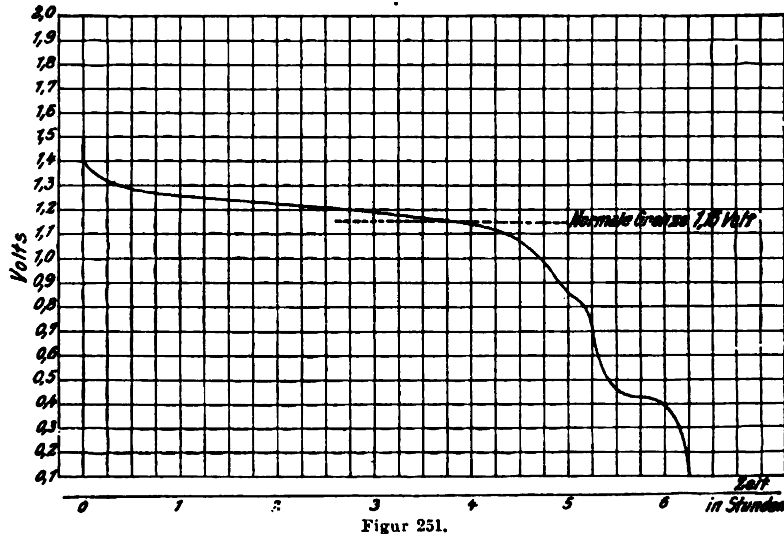


Figur 250.

Figur 250 zeigt eine Batterie aus 6 Edisonzellen in einem gemeinsamen Träger.

Der Elektrolyt besteht aus 21 % Kalilauge und soll stets 12 mm über der Oberkante der Platten stehen, unterhalb der Füllöffnung. Sinkt der Stand der Flüssigkeit unter das vorgeschriebene Maß, so ist destilliertes Wasser nachzufüllen. Den richtigen Stand der Kalilauge konstatiert man in einfacher Weise mit Hilfe eines Glasrohres mit kleiner Ausfluß-Oeffnung, welches in die Füllöffnung bis auf die Plattenoberfläche eingeführt wird. Nach Schließen des Glasrohres mit dem Finger hebt man dasselbe heraus und ersieht an der am unteren Ende des Rohres angebrachten Marke, ob die Platten genügend von Kalilauge überdeckt sind oder nicht. Ist zu

wenig Elektrolyt in den Zellen, so ist destilliertes Wasser nachzufüllen. Die Spannung einer Zelle während der Entladung bei normaler Stromstärke beträgt im Mittel 1,23 Volt und sinkt gegen Ende derselben auf ca.



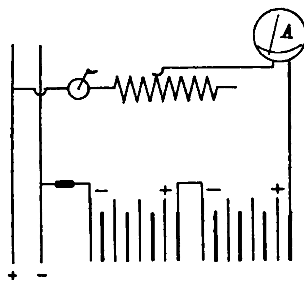
Figur 251.

1,15 Volt (vergl. die Entladungs-Charakteristik Figur 251). Unter normaler Entladung ist hierbei eine Stromstärke zu verstehen, welche der Zelle die angegebene Kapazität innerhalb $3^1/_4$ Stunden entnimmt.

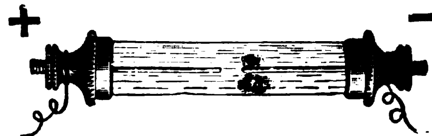
Bei Zellen, die in etwa 10 Stunden und mehr entladen werden, rechnet man mit einer mittleren Entladungsspannung von 1,25 Volt.

Das Laden einer Akkumulatorenbatterie erfolgt unter Benutzung eines Vorschaltwiderstandes am besten

a) von einer Gleichstrom-Anlage aus. Figur 252 gibt eine schematische Darstellung der Schaltungsweise. Die Plus- und Minusklemmen der Akkumulatorenbatterie werden mit den gleichnamigen Polen des Leitungs netzes verbunden und die Stromstärke unter allmählicher Ausschaltung von Widerstand erhöht, bis das in den Stromkreis eingeschaltete Ampère-



Figur 252.



Figur 253.

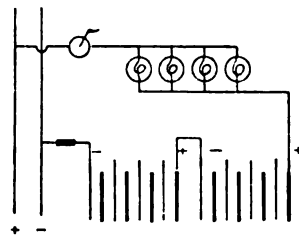
meter die von der Fabrik angegebene Ladestromstärke zeigt. Im allgemeinen ist es der Batterie dienlicher, wenn mit niedriger Stromstärke

geladen wird, natürlich dauert dies dann länger. Weiß man nicht, welches der positive Pol der Speiseleitung ist, so kann man dies mit Polreagenzpapier leicht ermitteln: der negative Pol färbt das Papier rot. Den gleichen Zwecken dient der in Figur 253 abgebildete, mit Flüssigkeit gefüllte Polfinder.

Die Ladung ist beendet, wenn in den Zellen eine lebhafte Gasentwicklung stattfindet und pro Zelle eine Spannung von 2,5 Volt beim Blei-Akkumulator beziehungsweise 1,8 Volt beim Edison - Akkumulator erreicht ist. An Stelle eines Reguliervorschaltwiderstandes und Ampèremeters kann man auch eine passende Anzahl Glühlampen benutzen. Im allgemeinen, wenn es sich nur um eine geringere Anzahl von



Figur 255



Figur 254.



Figur 256.

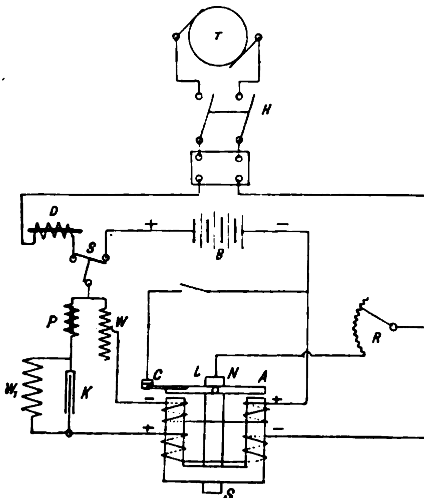
Zellen handelt, wird man Lampen der vorhandenen Netzspannung wählen, die dann allerdings etwas dunkler als normal brennen (vergl. Figur 254); ihre Zahl richtet sich nach der normalen Ladestromstärke der zu ladenden Akkumulatoren.

In Figur 255 ist eine Schalttafel zum Laden der Akkumulatoren mit kombiniertem Volt- und Ampèremeter nach Ferdinand Ernecke in Berlin, und in Figur 256 ein Lampenrheostat von Dr. Max Levy in Berlin abgebildet.

b) Auch mit Wechselstrom können Akkumulatoren geladen werden. Man kann sich dazu eines der im vorigen Kapitel beschriebenen mechanischen oder Flüssigkeits-Gleichrichters bedienen. Besonders für diese Zwecke konstruiert ist der Gleichrichter von Koch. Derselbe besteht aus einem mechanischen Unterbrecher, der dem auf Seite 158 beschriebenen Koch'schen Wechselstrom-Unterbrecher ähnlich ist. Der polarisierte Anker schwingt bei geeigneter Gestaltung synchron zur Phase des Wechselstromes und der durch den Kontakt *G* geleitete Wechselstrom gleicher Phase wird innerhalb jeder Periode einmal geschlossen und unterbrochen. Da diese Schließung und Oeffnung infolge der Selbstinduktion in den Unterbrecherspulen, der Hysteresis des Eisens und der mechanischen Trägheit der Ankermasse, nicht mit dem Augenblicke zusammenfallen würden, in welchem die Wechselstromspannung durch ihren Nullwert geht, schaltet Koch in den Erregerweg, in Serie mit den Unterbrecherspulen, einen Kondensator, dessen Kapazität so gewählt ist, daß nicht allein die Selbstinduktion der Spulen unschädlich gemacht, sondern auch der Erregerstrom in seiner Phase der Hauptstromphase so viel vorauseilt, als die Hysteresis des Eisens und die Trägheit der Ankermasse dies erfordert. Die Unterbrechungen erfolgen dann genau im Moment des Durchgangs des Hauptstromes durch seinen Nullwert und die Unterbrechungsfunken verschwinden gänzlich. Der Apparat liefert somit einen pulsierenden Gleichstrom. Um diesen Gleichstrom zum Laden von Akkumulatoren zu benutzen, sind die Unterbrecherschenkel mit einer zweiten Bewicklung versehen, deren Enden an die Pole der zu ladenden Batterie so angeschlossen werden, daß die Spannung der Batterie der induzierenden Wirkung des Wechselstromimpulses in Laderichtung entgegenwirkt. Bei geeigneter Dimensionierung dieser sekundären Bewicklung wird erreicht, daß nur der Spannungsüberschuß des Wechselstromimpulses gegenüber der Batteriespannung kontaktschließend wirkt, wodurch eine vollkommen automatische Regulierung des Unterbrechers auf Batteriespannung und ein vollkommen funkenloser Kontakt für alle Betriebsspannungen erreicht wird. Die Schließungs- und Oeffnungsmomente liegen genau in den Zeiten der Spannungsgleichheit von Batterie und Wechselstrom. Die Kapazität wurde relativ klein bemessen und die somit erzielte überschüssige Stromvoreile im Erreger durch eine Spule mit variabler Selbstinduktion auf das geeignete Maß zurückgeführt. Nähert sich die Klemmenspannung der Batterie der Wechselstrom-Mittel-

spannung, so werden die Schließungszeiten den Oeffnungszeiten gegenüber sehr kurz und der Anker beginnt eine stark hinkende Bewegung auszuführen. Hiergegen fand sich ein Mittel in einer vor die ganze Einrichtung geschalteten Drosselspule mäßigen Potentials.

In Figur 257 ist ein derartiger Koch'scher Gleichrichter schematisch dargestellt. Von der Wechselstromquelle *T*, die durch den doppelpoligen Schalter *H* abgeschaltet werden kann, führt die eine Leitung durch die Hauptstromdrosselspule *D* nach dem Dreikontaktschalter *S*, der sie gleichzeitig an den positiven Pol der zu ladenden Batterie *B* und an die Unterbrecherbewicklung *W* anschließt. Gleichzeitig legt der Schalter *S* die sekundäre Schenkelbewicklung des Unterbrechers an die Klemmen der Batterie. Der andere Wechselstromleiter führt durch den Anlasser *R* zum



Figur 257.



Figur 258.

Ankerlager *L*, von da durch den Anker *A* und Unterbrecherkontakt *C* zum negativen Pole der Batterie. Die sekundäre Schenkelbewicklung führt mit ihren Enden unter Vorschaltung des Widerstandes W_1 durch die variable Selbstinduktion *P* zu den Erregerspulen und zur Wechselstromquelle zurück.

Diese Apparate werden in zwei Typen hergestellt, von denen die eine in Schalttafelform für alle gebräuchlichen Wechselstrom-Spannungen bis zu 240 Volt für eine maximale Belastung von 15 Ampère verwendbar ist (vergl. Figur 258). Der Wirkungsgrad ist ein recht guter und hängt in der Hauptsache von dem Spannungsverhältnis zwischen Wechselstrom und Batterie ab. Der günstigste Nutzeffekt wird erzielt, wenn die Wechselstromspannung 5 bis 10 % über der Maximal-Klemmenspannung der zu ladenden Batterie liegt.

In letzter Zeit ist ein weiterer, mit schwingenden Kontakten arbeitender Wechselstrom-Gleichrichter, System Falkenthal, von den Deutschen Telephonwerken in Berlin auf den Markt gebracht worden.

Die besonderen Vorzüge dieses Gleichrichters gegenüber ähnlichen Einrichtungen sind hoher Wirkungsgrad infolge sehr geringen Eigenenergieverbrauches, geringe Anschaffungs- und Betriebskosten, große Betriebssicherheit und sehr einfache Konstruktion.

Die Anwendung dieses Gleichrichters ist auf kein besonderes Gebiet beschränkt, sie ist also überall dort zu suchen, wo Gleichstrom mäßiger Energie, gleichgültig zu welchem Zweck, gewünscht wird, jedoch nur Wechselstrom vorhanden ist.

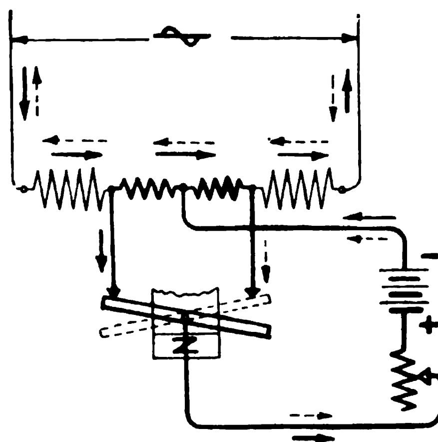
Entsprechend den verschiedenen Anwendungszwecken werden zwei Arten von Gleichrichtern hergestellt:

a) solche für Akkumulatorenladung,

b) solche für induktive Belastung,

d. h. also zum Betriebe von Funkeninduktoren, kleinen Elektromotoren, Elektrisierapparaten etc. Diese zwei Apparattypen unterscheiden sich nur hinsichtlich ihrer Justierung und Beigabe von Kondensatoren für induktiv belastete Apparate.

Die Konstruktion ist in allen Fällen die folgende: Jeder Apparat besteht, wie die schematische Zeichnung in Figur 259 erkennen läßt, aus einem Transformator und einem Kontaktsystem. Der Kontakthebel dieses Systems ist mit einem durch permanenten Magneten oder Wicklung gleichnamig polarisierten Eisenanker verbunden, welcher leicht drehbar in einem Streufeld des Transformator-Eisenkernes angeordnet ist.



Figur 259.

Beim Einschalten des Wechselstromes wird dieser Anker daher in Schwingungen versetzt, die nicht nur in der Periodenzahl, sondern bei entsprechender Kontakteinstellung auch in Phase genau mit denen des Wechselstromes übereinstimmen. Die Gleichrichtung des letzteren kommt dadurch zustande, daß der schwingende Kontakt während der Dauer der einen halben Periode, d. h. eines Wechsels, den einen, während der Dauer der anderen halben Periode, d. h. des zweiten Wechsels, den anderen

Kontakt schließt. Der Verlauf des Stromes in den Wicklungen des Spartransformators während des ersten Wechsels ist in der Abbildung durch den stark, des zweiten Wechsels durch den gestrichelt gezeichneten Pfeil angedeutet. Wie aus dieser Abbildung ohne weiteres zu ersehen ist, fließt dann beim Schwingen des Ankers durch den angeschlossenen Gleichstromverbraucher stets ein pulsierender Strom in gleicher Richtung.

Bei diesen Gleichrichtern werden also stets beide Hälften der Wechselstromkurve abgenommen, woraus sich der weiter unten behandelte recht hohe Wirkungsgrad dieser Umformer erklärt.

Um jede Funkenbildung an den Kontakten zu vermeiden, werden die Apparate so justiert, daß Oeffnung und Schließung der Kontakte stets bei Stromlosigkeit erfolgt, d. h. bei den Apparaten für gegenspannungsfreie Belastung, im Nullpunkt der Wechselstromkurve, bei Apparaten für Akkumulatorenladung im Zeitpunkt der Spannungsgleichheit zwischen der ladenden Spannung und der der angeschlossenen Batterie. Den beim Laden auftretenden Aenderungen der Gegenspannung (bis ca. 30 %) paßt sich der Gleichrichter selbsttätig an.

Da die Transformatoren dieser Gleichrichter für Wechselstrom bis 250 Volt, falls keine besonderen Gründe vorliegen, in Sparschaltung gewickelt werden, so ist der Wirkungsgrad und auch die Leistung wie bei normalen Transformatoren von dem Verhältnis der Wechselstrom- zur Gleichstromspannung abhängig. Er liegt bei den einzelnen Apparatgrößen stets zwischen 60 und 95 %, ist also außerordentlich günstig.

Die gesamten Leerlaufsverluste dieser Gleichrichter betragen nur ca. 4 % der Maximalleistung.

Die Gleichrichter werden für jede beliebige Wechselstromspannung bis 500 Volt ausgeführt, wobei bis 250 Volt die Herabsetzung der Wechselstromspannung auf die niedrigere Gleichstromspannung im allgemeinen im Gleichrichter selbst, bei Spannungen über 250 Volt in einem besonderen Transformator erfolgt.

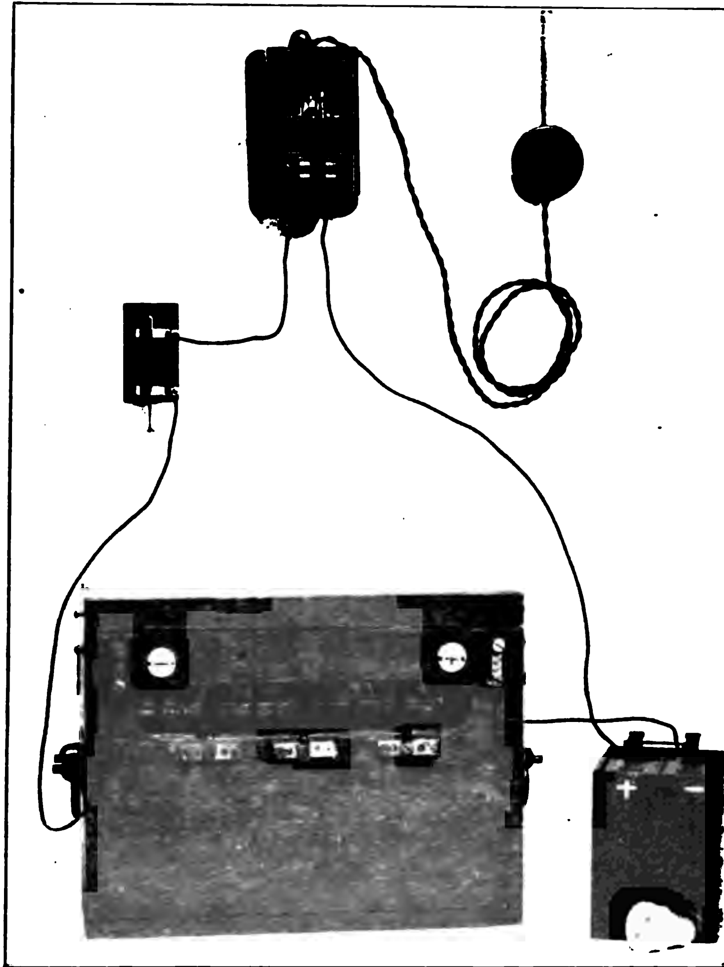
Die Gleichstromspannungen liegen bei den normalen Apparaten zwischen 2 und 120 Volt. Zu beachten ist übrigens, daß für Spannungs- und Strommessungen auf der Gleichstromseite nur Deprez-Instrumente richtige Werte liefern, und auch nur dann, wenn die Stromverbraucher, Batterien usw. angeschlossen sind.

Vorstehende Gleichrichter werden nicht nur für 50, sondern auch für alle vorkommenden zwischen 25 und 100 Perioden liegenden Frequenzen hergestellt.

In Figur 260 ist die kleinste Apparattype für ca. 25 Watt zusammen

mit 2 aufzuladenden Akkumulatorenbatterien abgebildet, während Figur 261 einen größeren Apparat für maximal 300 Voltampère darstellt.

Wie bei allen mit schwingenden Kontakten arbeitenden Gleichrichtern, machen Stromverbraucher, welche Selbstinduktion besitzen, wie Funkeninduktoren, Motoren, Elektromagnete, die durch den Umformer gespeist

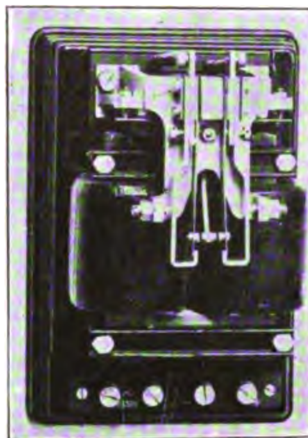


Figur 260.

werden, die Einschaltung eines Kondensators parallel an die Gleichstromklemmen erforderlich. Soweit es seine Größe zuläßt, wird dieser stets im Sockel der Gleichrichter untergebracht.

Die Flüssigkeits-Gleichrichter, die auf Seite 163 und 164 bereits

behandelt wurden, sind zum Laden der Akkumulatoren bei Wechselstrom sehr wohl verwendbar, haben aber nur einen geringen Nutzeffekt. Die Quecksilberstrahl-Unterbrecher für Wechselstrom (vergl. Seite 160), die Quecksilberdampf-Gleichrichter, die rotierenden Umformer (vergl. Seite 192) und eine eigene Kraftanlage kommen zur Ladung von Akkumulatoren, die zur Speisung von Funkeninduktoren verwendet werden sollen, kaum in Betracht, da ja deren direkter Betrieb einfacher und ökonomischer sein würde.



Figur 261.

c) Wenn die Gelegenheit zum Laden der Akkumulatoren an einer Gleich- oder Wechselstromquelle fehlt, so kann man sich zu diesem Zweck einer Thermosäule bedienen. Diese basiert auf der Tatsache, daß an der Lötstelle zweier verschiedener Metalle ein elektrischer Strom entsteht, sobald die Lötstelle erwärmt wird. Durch die gleichzeitige Erwärmung einer größeren Anzahl solcher Lötstellen kann man eine zum Laden von Akkumulatoren passende Stromspannung und Stärke erhalten.

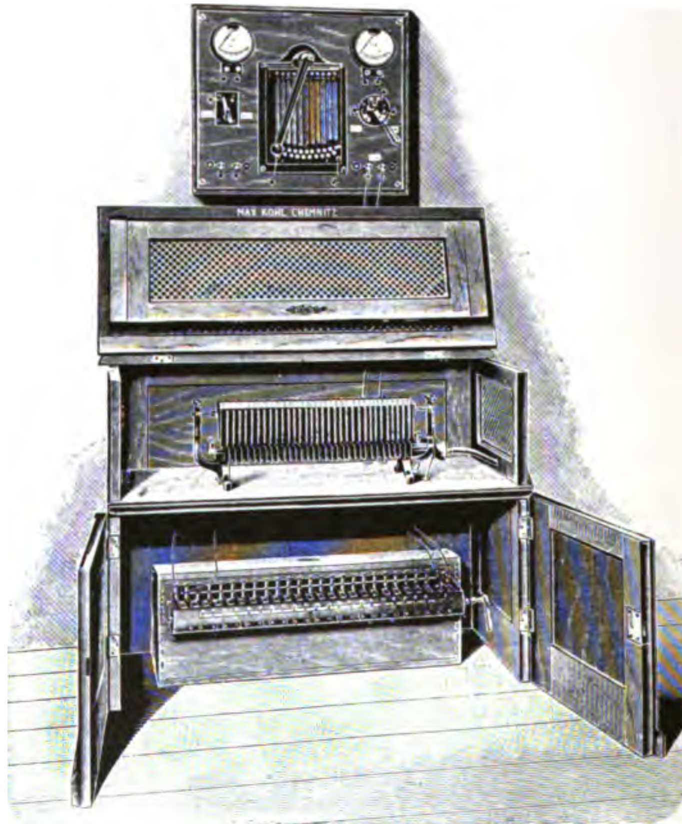
Die Gülcher'sche Thermosäule (Figur 262) besteht aus 66 Elementen und entwickelt eine nutzbare Klemmenspannung von 4 Volt, bei einer Stromstärke von 2 Ampère. Die Heizung erfolgt mit Gas, und da ein Verbrauch von stündlich 170 Litern stattfindet, stellen sich die Betriebskosten auf etwa $2^1/_2$ Pfg. pro 8 Wattstunden, was zwar zwanzigmal so teuer als bei Kraftanschluß an eine Zentrale, aber immerhin viel billiger als Batteriestrom ist. Die Verbrennung des Gases ist eine so vollkommene wie bei einem Bunsenbrenner, so daß also keinerlei übler Geruch, Rauch oder Ruß mit in Kauf genommen werden muß. Beim Laden werden die einzelnen Akkumulatoren natürlich alle parallel geschaltet. Hierzu ist ein Pachytrop recht nützlich, der so eingerichtet sein kann, daß, wenn die Walze auf Parallelschaltung der Akkumulatoren steht, die Thermosäule eingeschaltet ist, letztere aber ausgeschaltet wird, sobald die Pachytropwalze die Akkumulatoren hintereinander schaltet. Die Ladung geht nur



Figur 262.

sehr langsam von statten; da jedoch die Thermosäule keinerlei Aufsicht und Wartung erfordert, kann das Laden Tag und Nacht ununterbrochen fortgesetzt werden. Man rechnet auf eine Thermosäule etwa 8 Akkumulatoren.

Andere Säulen ähnlicher Art werden von Heil in Frankfurt a. M. und Strumpf in Berlin hergestellt.



Figur 263.

Figur 263 stellt einen Schrank dar, in welchem eine Thermosäule und eine Akkumulatorenbatterie nebst Pachytrop untergebracht sind. Derselbe wird von Max Kohl in Chemnitz gefertigt und ist recht empfehlenswert.

3. Gleichstromzentrale.

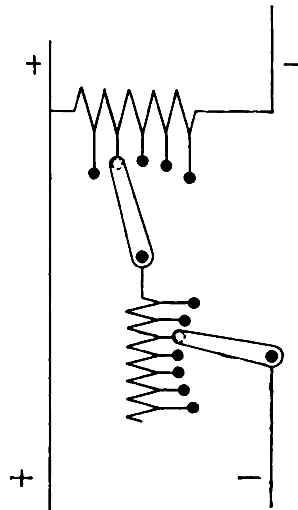
Der Anschluß an eine Gleichstromzentrale bis zu 550 Volt ist am vorteilhaftesten und, wenn irgend möglich, zu erstreben. Dieser Strom bietet gegen alle anderen Stromquellen die größte Bequemlichkeit, Gleich-

mäßigkeit und Billigkeit. Um die Spannung auf das zum Betriebe des Induktors erforderliche Maß herabzusetzen, wendet man Nebenschluß-widerstände oder rotierende Umformer an Letztere bestehen entweder aus einem Elektromotor für hohe Betriebsspannung und einer damit gekuppelten, niedrigvoltigen Dynamo oder einem sogenannten Spar-Umformer, dessen Anker zwei Wicklungen trägt (vergl. Figur 264). Derartige Umformer sind zwar bedeutend ökonomischer als Nebenschluß-Widerstände, dafür aber höher in den Anschaffungskosten. Da es neuerdings mit den Quecksilberstrahl- beziehungsweise -Ring- und auch Flüssigkeits Unterbrechern möglich geworden ist, die Induktoren mit Strömen von 110 bis 220 Volt Spannung direkt zu speisen, der Fall höherer Netzspannung aber äußerst selten vorliegen dürfte, so wollen wir von einem näheren Eingehen auf die rotierenden Umformer absehen und uns den gleichen Zwecken dienenden Widerständen zuwenden.



Figur 264.

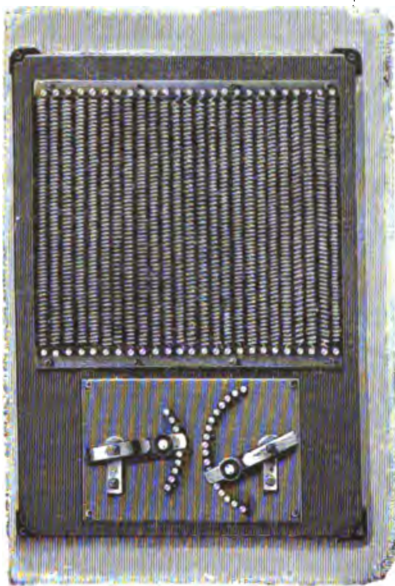
Sehr verbreitet ist der Nebenschluß-Widerstand (Figur 265). Der Starkstrom ist durch einen genügend großen Widerstand geschlossen, im Nebenschlußkreise ist außerdem ein zweiter regulierbarer Widerstand eingeschaltet, um innerhalb der abgenommenen Spannungsgrenzen noch eine feinere Stromstärkenabstufung erzielen zu können. Ein solcher Abzweigwiderstand von Ferdinand Ernecke in Berlin ist in Figur 266 dargestellt. Derselbe ist mit zwei Kurbeln versehen und gestattet damit, die Spannung der Zentrale derart herabzusetzen oder abzuzweigen, daß für die Induktorzuleitung 40 bis 50 Volt übrig bleiben. Dies geschieht mit der rechtsliegenden Kurbel, durch die linke können gleichzeitig die Stromstärken von etwa 15 Ampère bis auf 4 Ampère verändert werden. Es eignen sich diese Abzweigwiderstände hauptsächlich für die Benutzung von



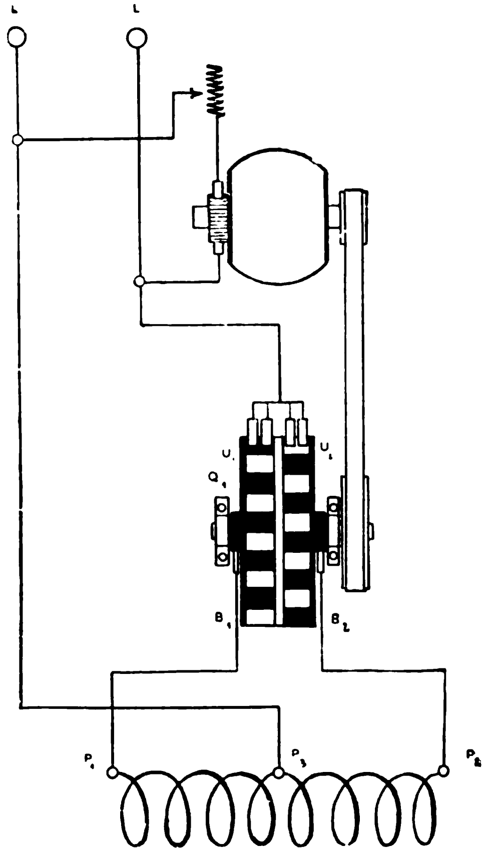
Figur 265.

Platin- und Quecksilber-Unterbrechern, wenn diese durch den Strom einer Zentrale betrieben werden sollen. Bei den Netzen mit 200 Volt Spannung und mehr müssen derartige Abzweigwiderstände auch bei Benutzung eines Wehnelt-Unterbrechers angewendet werden.

In einigen Fällen, wo es darauf ankommt, dem Induktor sehr große Energiemengen zuzuführen (Telegraphie ohne Draht, Teslaexperimente usw.) kann es, worauf bereits hingewiesen wurde, empfehlenswert sein, Netzgleichstrom vorher in Wechselstrom umzuformen, um mit letzterem dann den Induktor zu speisen. Man kann dazu einen Gleichstrom-Wechselstrom-Einanker-Umformer anwenden, bestehend aus einem



Figur 266



Figur 267.

Gleichstrommotor, auf dessen Achse sich außer dem Kollektor zwei Schleifringe befinden, die mit zwei diametral gegenüberliegenden Punkten der Ankerwicklung in Verbindung stehen und von denen der Wechselstrom abgenommen wird.

Bei dem früher von der Allgemeinen Electrizitäts-Gesellschaft in Berlin hergestellten Gleichstrom-Wechselstrom-Umformer wird der gleiche Zweck auf andere Weise erreicht. Figur 267 zeigt eine schematische Darstellung

dieses Umformers. Die Primärwicklung des Induktors P hat außer ihren beiden Endklemmen P_1 und P_2 noch eine dritte Klemme P_3, welche mit der Spulenmitte in Verbindung steht. Zunächst gelange nun der Gleichstrom in den Kreis $P_1 P_3$ und bleibe so lange geschlossen, bis darin ein bestimmtes Strommaximum erreicht ist. Dann wird außerdem noch der Strom $P_2 P_3$ geschlossen. Da beide Spulen in entgegengesetztem Sinne gewickelt erscheinen, beide aber einen gemeinsamen Eisenkern haben, so wird letzterer in entgegengesetztem Sinne magnetisiert und durch die Stromschließung $P_2 P_3$ im ersten Stromkreise eine elektromotorische Kraft erzeugt, die dem Strom in $P_1 P_2$ entgegengesetzt gerichtet ist und angenähert zu Null werden läßt. In diesem Moment wird der Stromkreis $P_1 P_3$ unterbrochen, worauf der Strom in $P_2 P_3$ schnell zum Maximalwert ansteigt.

Um diese abwechselnden Schaltungen in beiden Stromkreisen zu bewirken, ist eine Kontaktvorrichtung in Form eines doppelten Dynamokollektors vorhanden. Sie besteht aus zwei gegeneinander versetzten Kontakträdern $U_1 U_2$, die voneinander isoliert auf einer gemeinschaftlichen Welle angebracht sind, einerseits kontinuierliche Stromzuführungen $B_1 B_2$, andererseits eine gemeinsame Schleifbürste B_3 besitzen, die abwechselnd auf den Lamellen $U_1 U_2$ schleift oder zeitweise beide miteinander verbindet. Eine Funkenbildung am Kollektor ist ausgeschlossen, da ja der Gleichstrom nie unterbrochen wird. Dieser Umformer liefert nicht etwa pulsierenden Gleichstrom, sondern Wechselstrom, dessen Amplitude zwischen weiten Grenzen verändert werden kann. Der Antrieb erfolgt durch einen kleinen Motor, von dessen Umdrehungsgeschwindigkeit die Periodenzahl (15 bis 100 in der Sekunde) abhängt.

Mit Hilfe dieses Umformers ist es möglich, ganz bedeutende Stromstärken dem Induktorium zuzuführen. Jeder normale Induktor wird durch Anbringung der Klemmenverbindung P_3 für diesen Umformer verwendbar.

Auf viel einfachere Weise hat Verfasser das gleiche Ziel erreicht. Er benutzte einen Motor-Quecksilber-Unterbrecher mit Doppelwechselkontakt und einen Induktor mit zwei primären, im entgegengesetzten Sinne geschalteten Wicklungen. Stellt man die Quecksilbergefäße des Unterbrechers (vergl. S. 112 bis 113) so ein, daß der eine Kontaktstift bereits in das Quecksilber eintaucht, ehe der andere Stift es verlassen hat, und reguliert die Tiefe des Eintauchens passend, so kann man leicht erreichen, daß die Stromöffnung in beiden Stromkreisen im Momente einer sehr geringen Stromstärke erfolgt, was an den minimalen Oeffnungsfunken zu erkennen ist. Der in der sekundären Spule des Induktors induzierte Strom hat dann den Charakter eines Wechselstromes.

4. Wechselstrom- oder Drehstromzentrale.

Der Anschluß an eine Wechselstrom- oder Drehstromzentrale ist in den meisten Fällen demjenigen an eine Gleichstromzentrale gleichwertig. Nicht nur, daß man den Induktor direkt mit Wechselstrom speisen und ihm so eine bedeutende Energie zuführen kann, wie wir solches im vorigen Abschnitt gesehen haben, so kann man auch den Wechselstrom in Verbindung mit einem geeigneten Unterbrecher, z. B. dem Loch-Unterbrecher (vergl. S. 146 bis 149 und S. 163), zum Betriebe eines Induktors mit Vorteil benutzen.

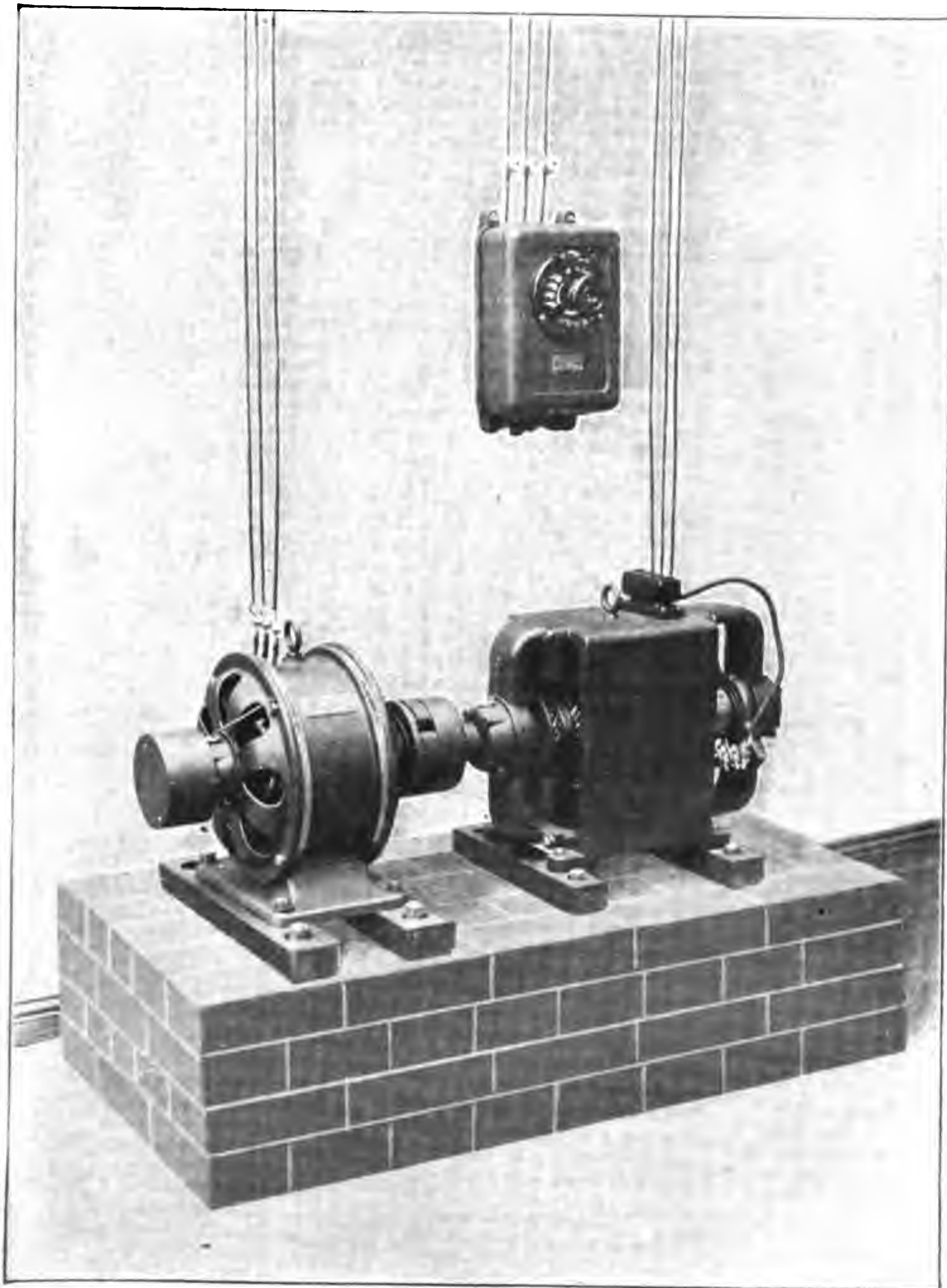
In allen diesen Fällen erhält man natürlich auch in der sekundären Spule des Induktors einen Wechselstrom.

Für spezielle Zwecke, z. B. bei Betrieb von Roentgenröhren, ist das unerwünscht, in diesen Fällen wird man sich, sofern nicht etwa ein in einem späteren Abschnitt beschriebener Wechselstrom Roentgenapparat mit gleichgerichtetem Hochspannungsstrom zur Anwendung gelangt, eines der beschriebenen Wechselstromunterbrecher, z. B. des Wechselstromturbinen-Unterbrechers oder eines rotierenden Umformers bedienen müssen, der den Wechsel- oder Drehstrom erst in Gleichstrom verwandelt. Ein derartiger Umformer besteht aus einem Wechselstrom- oder Drehstrommotor, der mit einem Gleichstromdynamo gekuppelt ist. Zur Inbetriebsetzung des Wechselstrommotors ist ein Anlaßwiderstand erforderlich, der Drehstrommotor bedarf eines solchen nicht. Zur Regulierung der Leistung der Dynamo dient ein Nebenschlußwiderstand. In Figur 268 ist ein derartiger rotierender Umformer von Siemens & Halske in Berlin abgebildet. Sein Betrieb erfordert keinerlei Wartung; sein Nutzeffekt ist ein sehr hoher. Man kann auch Motor und Dynamo in einer Maschine vereinigen, doch geschieht das verhältnismäßig selten.

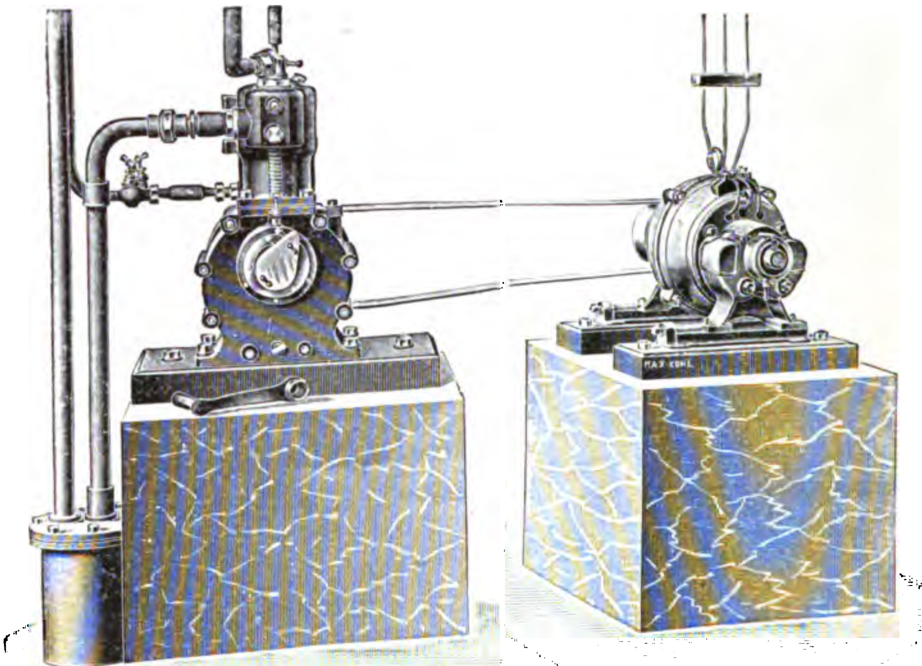
Eine zweite Möglichkeit, den vorhandenen Wechsel- oder Drehstrom in Gleichstrom zu verwandeln, liegt in der Anwendung von Gleichrichtern, von denen an dieser Stelle die Quecksilberdampf-Gleichrichter und die elektrolytischen Gleichrichter (vergl. S. 164) erwähnt seien.

5. Besondere Kraftanlage.

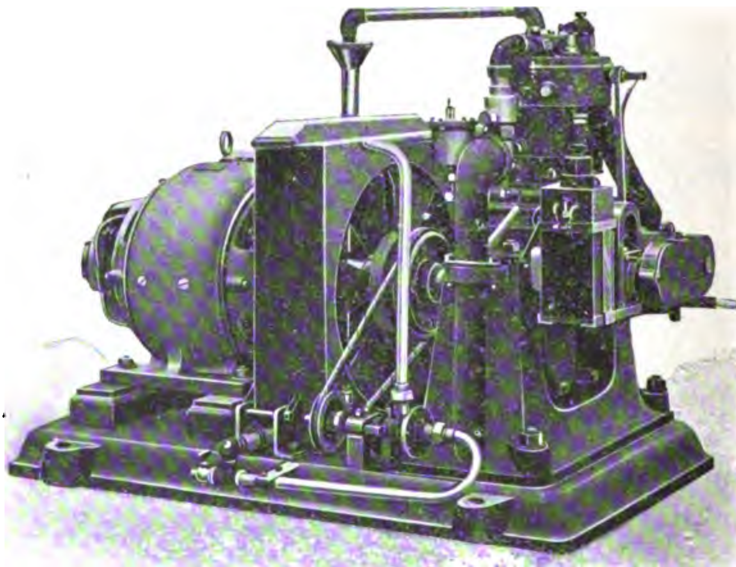
Wo kein Netzanschluß und keine Gelegenheit zum Laden von Akkumulatoren vorhanden ist und die relativ höheren Anschaffungskosten nicht hinderlich sind, empfiehlt sich die Aufstellung einer besonderen Kraftanlage, sei es in Verbindung mit einer schon vorhandenen Kraftquelle oder mittels besonderen Gas-, Benzin-, Benzol-, Spiritus- oder Petroleummotors. Nachdem sich durch die Automobilindustrie die Explosionsmotoren



Figur 208.



Figur 269.



Figur 270.

konstruktiv sehr entwickelt haben und die Preise solcher Motoren sich verhältnismäßig niedrig stellen, ist ihre Anwendung in den vorhin erwähnten Fällen wohl in Erwägung zu ziehen. Figur 269 zeigt eine derartige Anlage mit einem 1 Pferdekraft-Benzinmotor mit elektrischer Zündung, wie sie von Max Kohl in Chemnitz geliefert wird. Der Antrieb der Dynamomaschine, welche eine Spannung von 65 Volt entwickelt, erfolgt mittels Riemens. Figur 270 zeigt ein anderes Aggregat dieser Art von Dr. Max Levy in Berlin, bei dem Benzol-Motor und Dynamomaschine direkt gekuppelt sind. Erwähnt sei endlich auch noch der Antrieb der Dynamomaschine durch ein Göpelwerk, wie solches Siemens & Halske bei transportablen Roentgenapparaten für Landärzte ausführt.

Neuntes Kapitel.

Nebenapparate.

Außer der Stromquelle, dem Unterbrecher und dem Induktor sind zur Vervollkommnung eines Instrumentariums noch einige Nebenapparate erforderlich, auf die wir im folgenden kurz eingehen wollen. Zunächst sind Meßapparate für die Kontrolle der elektrischen Energie nach Spannung (Volt) und Stromstärke (Ampère) erforderlich.

1. Der Spannungsmesser (Voltmeter) ist nur beim Batteriebetriebe (vergl. S. 174 bis 181) und bei Umformern erforderlich; beim Anschluß an das Leitungsnetz einer Zentrale,



Figur 271.



Figur 272.

deren Betriebsspannung bekannt und ziemlich konstant ist, kann er entbehrt werden.

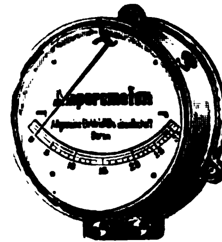
2. Der Stromstärkemesser (Ampèremeter) zeigt den jeweiligen Stromverbrauch an und bietet gleichzeitig eine Kontrolle für die Beanspruchung des Induktors, er sollte daher nirgends fehlen.

Die Figuren 271—274 zeigen zwei verschiedene Typen von Volt- und Ampèremetern; Figuren 271 und 273 solche von Ferdinand Ernecke in Berlin in Standform und Figuren 272 und 274 solche von der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft in Berlin in Schalttafelform.

3. Die Regulierwiderstände dienen zur Regelung des Stromzuflusses. Es kommen davon im allgemeinen zwei zur Anwendung, der eine zur Regulierung der Geschwindigkeit des Motors vom Unterbrecher, der andere zur Regulierung des Speisestromes.



Figur 273.



Figur 274.

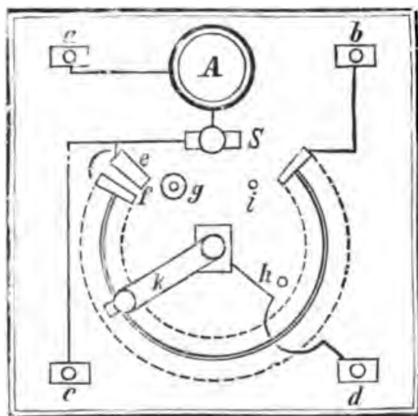
In Figur 275 ist ein Gleitwiderstand der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft in Berlin abgebildet, wie er sich zur Regulierung der Tourenzahl des zum Betriebe des Motor-Quecksilber- oder Turbinen-Unterbrechers dienenden Motors eignet.



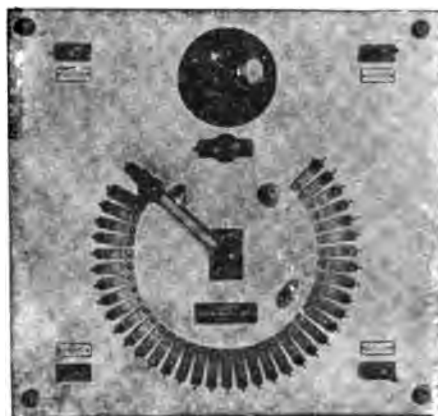
Figur 275.

Figuren 276 und 277 stellen einen Speisestrom-Regulator derselben Firma dar, der für alle Spannungen zwischen 16 und 220 Volt ausreicht. Dieser Widerstand enthält insgesamt 40 Ohm, die sich auf 37 Kontakten, durch Drehen einer Kurbel von links nach rechts, bis auf 0 Ohm abstufen lassen. An der linken Seite ist ein fester Anschlag *g* angebracht, der das Abgleiten der Kurbel von den Kontakten verhindern soll, an der rechten

Seite dagegen befinden sich zwei mit Gewinde versehene Metallplatten, in welche Anschlagbolzen (*h* und *i*) eingeschraubt werden können. Beim Betriebe mit Spannungen von 110 bis 220 Volt soll sich der Anschlagstift stets in der Metallplatte *h* befinden, so daß für die Kurbel nur der Weg



Figur 276.


Figur 277.

von *g* bis *h* übrig bleibt. Der zwischen *h* und *i* liegende Widerstand kann dann nicht ausgeschaltet werden und dient als Sicherheit bei etwa eintretenden Kurzschluß. Bei niedrigen Spannungen und Akkumulatorenbetrieb (16 bis 40 Volt) ist der Anschlagstift in *i* einzusetzen, so daß die Kurbel nun über den ganzen Kontaktkranz bewegt werden kann.

Die Stromzuleitung ist mit den Klemmen *a* und *b*, die Leitung zum Induktor mit den Klemmen *c* und *d* zu verbinden. Durch den Dosenausschalter *A* wird der Strom eingeschaltet oder unterbrochen. Die Sicherung *S* schützt den Widerstand und die angeschlossenen Apparate vor Ueberlastung (15 Ampère) Um auch bei einer Lichtanlage von 110 Volt Spannung den Induktor mit niedrigerer Spannung betreiben zu können, werden die beiden ersten Kontaktplatten *e* und *f* mit einer (abnehmbaren) Brücke verbunden, es wird dadurch ein Nebenschluß hergestellt, von dem sich durch Bewegung der Kurbel ein Strom von beliebig geringerer Spannung für den Unterbrecher abzweigen läßt (vergl. S. 189). Man wird also den Widerstand so lange ohne die Brückenverbindung benutzen, als die Herabsetzung der Spannung nicht dringend erforderlich ist. Macht sich dies durch zu starkes Feuern am Unterbrecher bemerkbar, so wird man die Brücke einsetzen. Bei Akkumulatorenbetrieb soll die Brücke nie eingesetzt werden. Der Widerstand ist in aufrechter Stellung anzubringen, damit die Widerstandsspulen durch den Luftzutritt gut gekühlt werden.

Wie bereits bei den Unterbrechern angeführt wurde, können die Induktoren bei Anwendung von Quecksilberstrahl- bezw. Ring- und Flüssigkeits-Unterbrechern direkt vom Leitungsnetz gespeist werden und ist in diesen Fällen ein Abzweigwiderstand nur in den seltensten Fällen erforderlich. Der Loch-Unterbrecher kann selbst bei 220 Volt Netzspannung direkt an das Netz angeschlossen werden, beim Stift-Unterbrecher, zumal bei kleineren Induktoren (bis zu 50 cm Schlagweite), ist dies nicht mehr angängig.



Figur 278.

4. Für diesen Fall baut Max Kohl in Chemnitz die in Figur 278 abgebildete Drosselspule, welche vor den Induktor geschaltet wird. Die Spule ist aus besponnenem Kupferdraht um einen unterteilten Eisenkern gewickelt und befindet sich in einem gefälligen, aus perforiertem Blech hergestellten Gehäuse. Die beiden Enden der Wicklung sind zu zwei auf der einen Stirnseite des Gehäuses angebrachten Klemmen geführt, an welche die Stromleitungsdrähte angeschlossen werden. Der Eisenkern ist in ein Hartgummirohr eingeschlossen und herausziehbar, wodurch die Selbstinduktion verändert werden kann.



Figur 279.



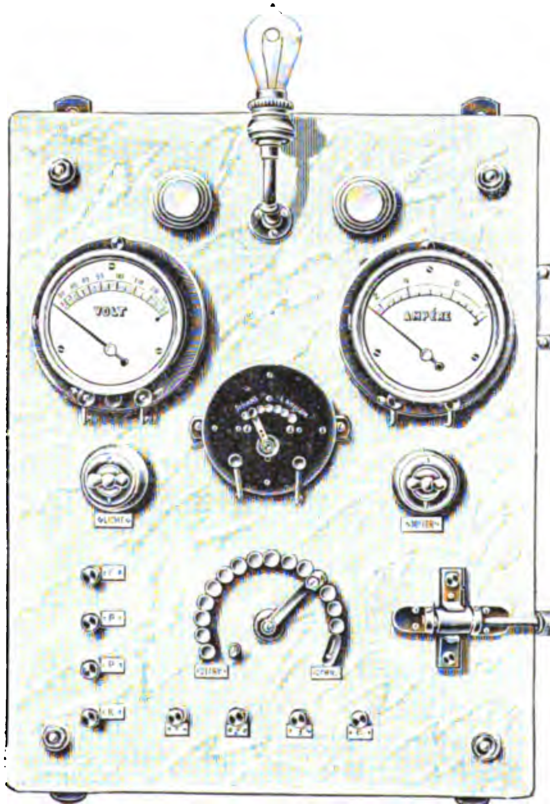
Figur 280.

Aber auch mit niederen Spannungen, zumal wenn das Induktorium nicht speziell für den Betrieb mittels Wehnelt-Unterbrechers eingerichtet worden ist, empfiehlt sich oft die Einschaltung einer Spule mit Selbstinduktion. Der Regulierwiderstand wird für diese Fälle in der Art ausgeführt, daß ein Teil desselben stark induktiv ausgebildet ist. Derartige Regulierwiderstände werden von Ferdinand Ernecke (Figur 279) und Dr. Max Levy (Figur 280) in Berlin hergestellt.



Figur 281

5. Eine große Uebersichtlichkeit und bequeme Handhabung gewähren Schalttafeln, welche alle diejenigen Hilfsapparate, die zum Betriebe, zur Regulierung und Sicherung des Induktors nötig sind, enthalten. Dieselben werden bei stationären Einrichtungen als Wandtableau ausgebildet, bei transportablen aber am besten horizontal eingebaut und enthalten, neben dem Widerstande für den Unterbrechermotor und demjenigen für den Speisestrom des Induktors, die Ausschalter, Sicherungen, Stromwender, das Volt- und Ampèremeter und die nötigen Verbindungsklemmen für die Leitungen zum Unterbrecher und Induktor. Diese Schalttafeln



Figur 282.

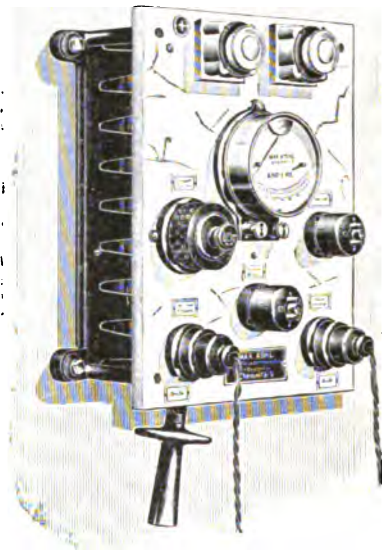
werden sowohl für Akkumulatorenbetrieb, als auch für den Anschluß an das Leitungsnetz einer elektrischen Zentrale hergestellt.

Im letzteren Falle müssen sie in allen Punkten den Sicherheitsvorschriften für Starkstromanlagen entsprechen und feuersicher hergestellt sein. (Montage auf Marmor oder Schiefer!)

Figur 281 zeigt eine derartige Schalttafel für Batteriebetrieb mit Platin-Unterbrecher, Doppelwippe oder Motor-Quecksilber-Unterbrecher, wie sie Dr. Max Levy in Berlin liefert, und Figur 282 eine Schalttafel



Figur 283.



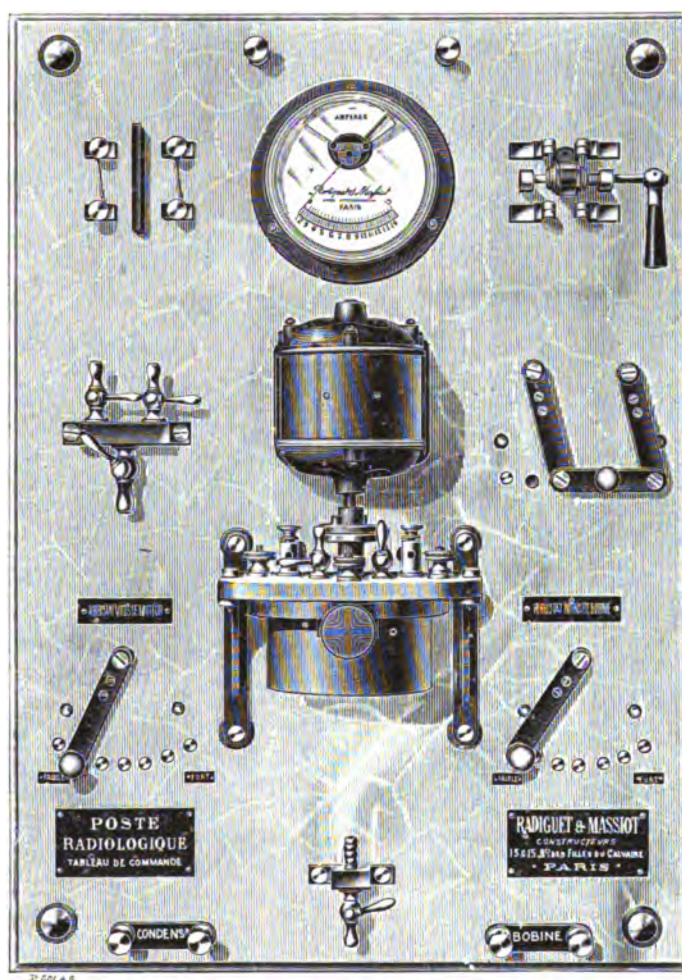
Figur 284.

von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen für Anschluß an eine Gleichstromzentrale. In Figur 283 ist eine Schalttafel für Betrieb mittels Akkumulatoren und in Figur 284 eine solche für Netzanschluß, beide Formen von Max Kohl in Chemnitz, abgebildet.

Eine Schalttafel, die gleichzeitig einen Quecksilberstrahl-Unterbrecher trägt, zeigt Figur 285 (Radiguet und Massiot, Paris).

Eine Schalttafel für Wechselstrom von der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft in Berlin stellt Figur 286 dar. Sie ist schmal gebaut, um in einen Schrank eingebaut werden zu können, doch kann sie auch ohne solchen angewandt werden. Der Widerstand für den Unterbrecher ist hier als überflüssig fortgelassen, die Einrichtung aber sonst so getroffen,

daß die sämtlichen Apparate einschließlich Stromwender auf der Tafel vereinigt sind. Figur 287 zeigt eine andere Schalttafel für Wechselstrom der Firma Koch & Sterzel in Dresden, die gleichzeitig den auf Seite 158 beschriebenen Wechselstromunterbrecher trägt.



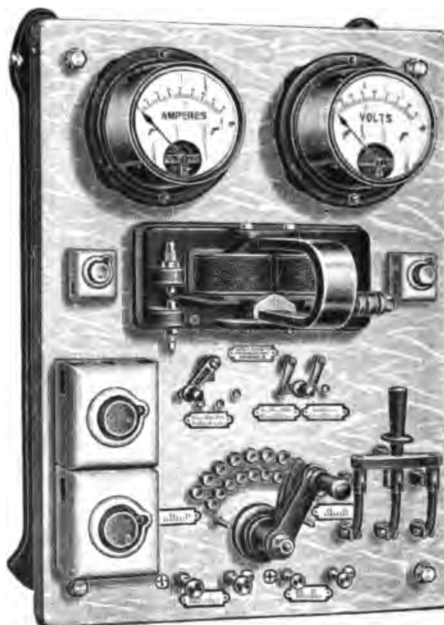
Figur 285.

Die gleiche Kombination weist der in Figur 288 abgebildete Schalttafelschrank von Dr. Max Levy in Berlin auf. Es können von hier aus alle Manipulationen vorgenommen werden, so daß man bei der Einschaltung oder Regulierung gar nicht in die Nähe des Induktors kommt. Auch für Beleuchtung der Schalttafel ist gesorgt.

Die Schalttafeln für Flüssigkeits-Unterbrecher zeichnen sich vor den bisher beschriebenen durch größere Einfachheit aus. Die in Figur 289 dargestellte Schalttafel von Max Kohl in Chemnitz trägt auf der Marmorplatte einen zweipoligen Ausschalter, eine zweipolige Bleisicherung mit Stöpseln für 30 Ampère, ein Gleichstrom-Ampèremeter bis 40 Ampère, eine Stöpseldose mit 2,5 m Doppelleitungskabel und einen hinter der Marmortafel liegenden Stromregulator. Figur 290 zeigt eine andere Schalttafel derselben Firma, die mit einem Pachytrop zur Veränderung der primären Selbstinduktion des Induktors versehen ist.

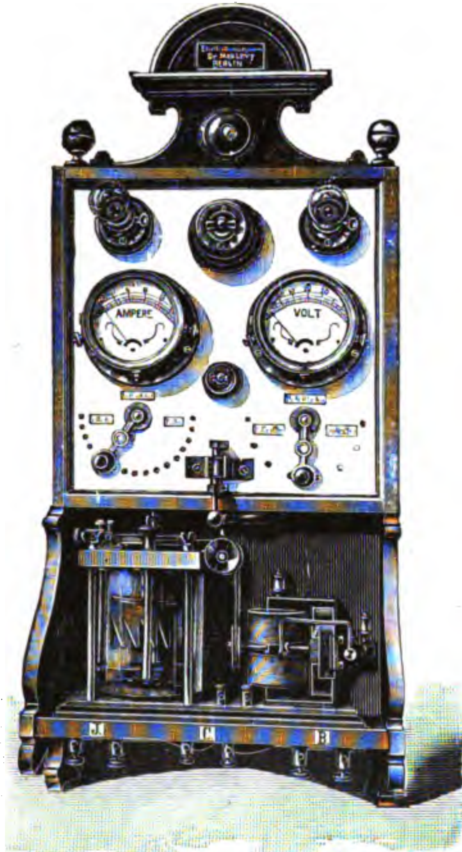


Figur 286.

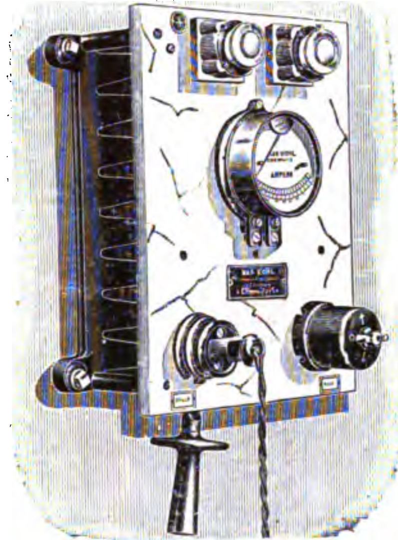


Figur 287.

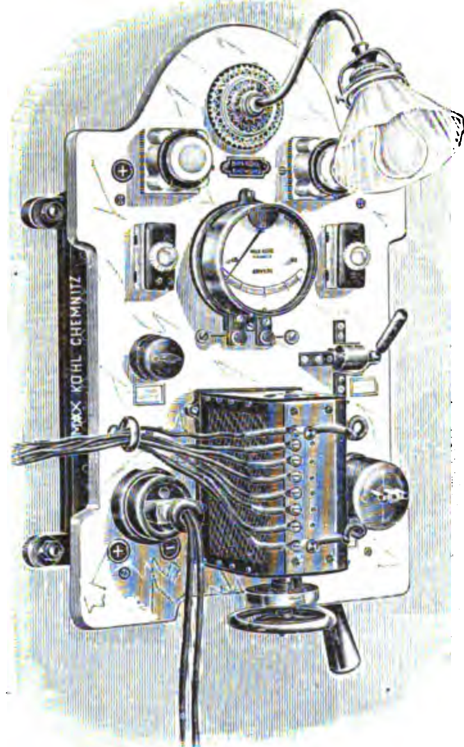
Ferdinand Ernecke in Berlin baut für Induktoren mit Wehnelt-Unterbrecher die in Figur 291 gezeichnete Schalttafel für Gleich- oder Wechselströme bis 110 Volt. Es sind zwei Bleisicherungen, ein Hitzdraht-Ampèremeter bis 20 Ampère, ein Voltmeter bis 120 Volt, Voltmeterausschalter, Stromabnahmestöpsel mit Schnur sowie der bereits vorher beschriebene, auf dem Boden stehende induktive Regulierwiderstand vorhanden.



Figur 288.

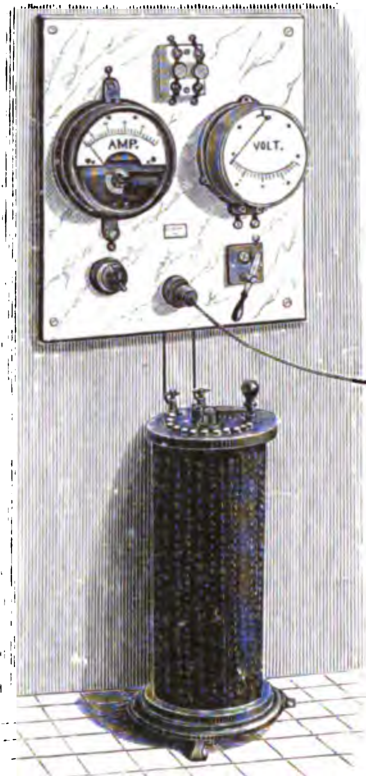


Figur 289.



Figur 290.

In Figur 292 ist eine große Schalttafel derselben Firma dargestellt, die neben dem Betrieb mittels Flüssigkeits-Unterbrecher auch für den Betrieb mittels Platin- oder Quecksilber-Unterbrecher beim Anschluß an eine Lichtleitung von 110 Volt geeignet ist. Dieselbe enthält einen Abzweigwiderstand, Ampèremeter, Voltmeter für Hauptstrom und Abzweigung, Voltmeterausschalter, Bleisicherung, Glühlampe, Ausschalter für den Hauptstrom und für die Glühlampe, Stromabnehmer für den Induktor

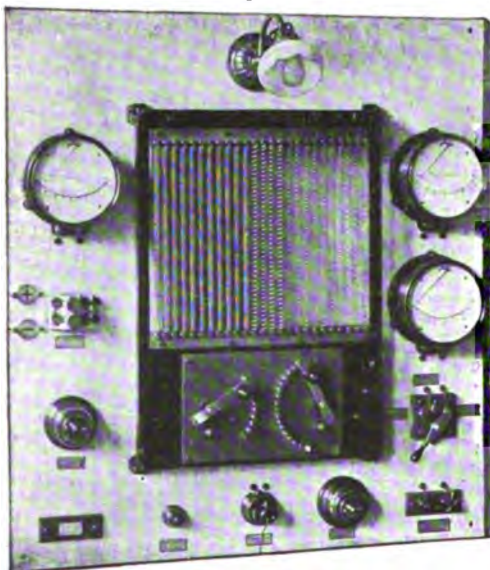


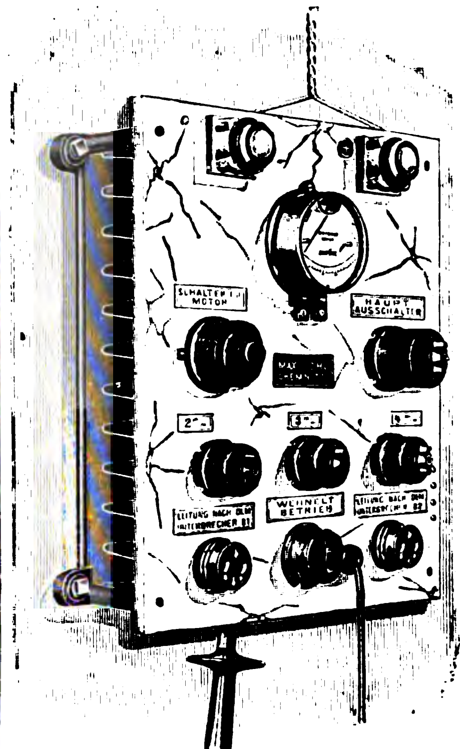
Figur 291.

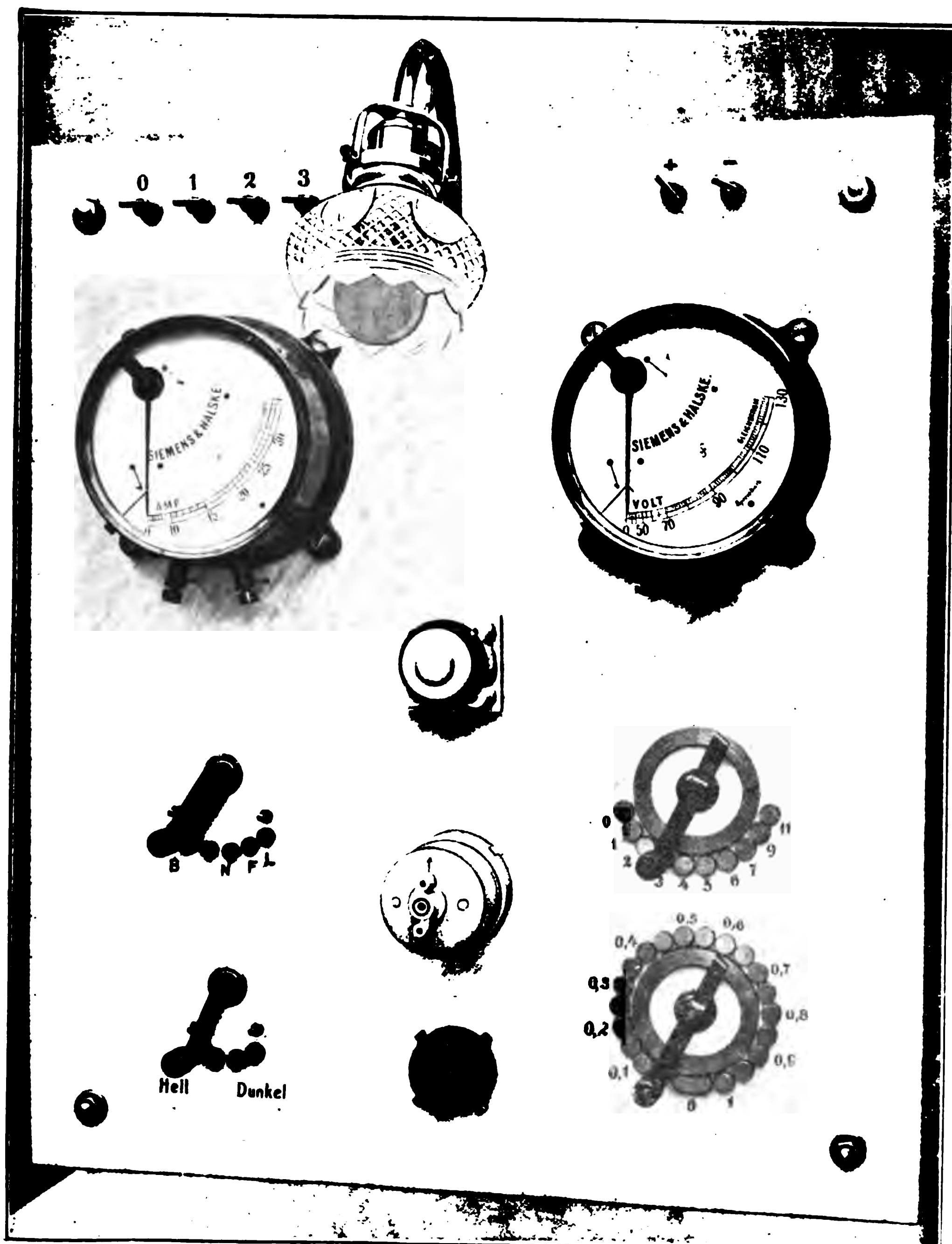
mit Wehnelt-Unterbrecher, Stromabnehmer für den zweiten Induktor mit anderem Unterbrecher und Ausschalter für den Stromkreis des Wehnelt-Unterbrechers. Für den Betrieb eines Induktors mit Quecksilberstrahl-Unterbrecher ist diese Schalttafel nicht geeignet.

Etwas größer werden die Schalttafeln für den mehrteiligen Wehnelt-Unterbrecher. Figur 293 stellt eine derartige Kohl'sche Schalttafel dar, die für den Anschluß an 110 Volt Gleichstrom und den Betrieb mit einem dreiteiligen Unterbrecher und mit einem Motor-Quecksilber-Unterbrecher konstruiert ist.

Sehr kompliziert werden die Schalttafeln für den Betrieb mittels mehr-

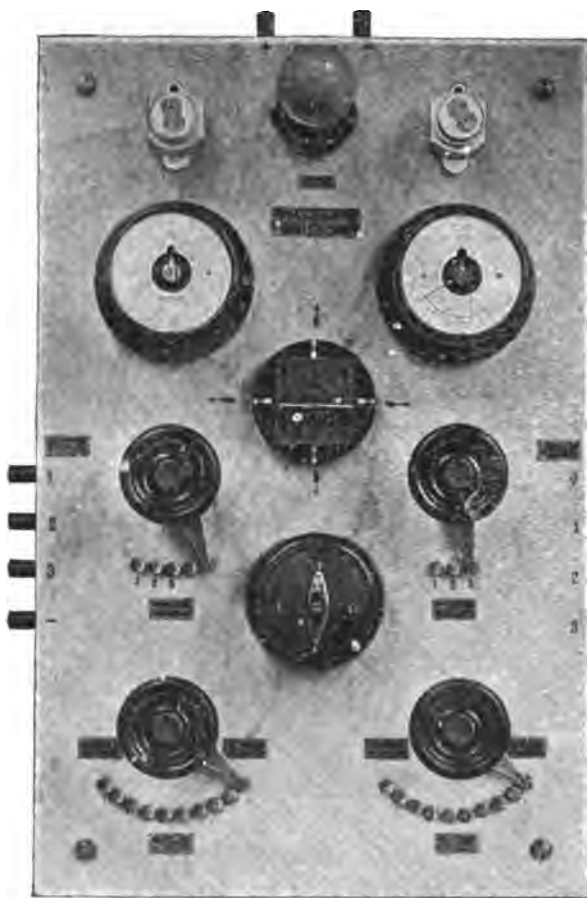

Figur 292.


Figur 293.


0
1
2
3
+
–
SIEMENS & HALSKE
AMP
SIEMENS & HALSKE
VOLT
50
70
90
110
130
B
N
F
L
0
1
2
3
4
5
6
7
9
11
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
Hell
Dunkel

Figur 294.

teiligen Wehnelt - Unterbrechers und variabler Selbstinduktion der primären Spule des Induktors. Dieselben sind derart eingerichtet, daß auf der Marmorplatte alle notwendigen Schaltapparate und Meßinstrumente angebracht sind, damit man von dieser einen Stelle aus alle diejenigen Schaltungen herstellen kann, die bei dem mehrteiligen Wehnelt-Unterbrecher und verschiedenen Abteilungen der Primärspule vorkommen. Bei dieser Art Schalttafeln von Siemens & Halske in Berlin (Figur 294) sind drei Kombinationen vorgesehen: für volle Funkenlänge normalen Roentgenbetrieb und Dauerbetrieb. Falls diese drei Kombinationen nicht genügen, baut dieselbe Firma auch Schalttafeln, die bis zum sechsteiligen Wehnelt-Unterbrecher erweitert werden können. Für die Wahl einer der betreffenden Abteilungen ist ein Pachytrop vorhanden.



Figur 295

Diese größeren Schalttafeln unterscheiden sich von den gewöhnlichen dadurch, daß Unterbrecher und Primärwicklung getrennte Schalter haben, so daß z. B. bei sechsteiligem Wehnelt-Unterbrecher und sechs Schaltungen der Primärspulen des Induktors 36 Kombinationen möglich sind. Figur 295 zeigt eine Schalttafel der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft, die für den Betrieb mittels dreistiftigen Wehnelt-Unterbrechers eingerichtet ist und eine dreifache Variation der primären Selbstinduktion des Induktors gestattet. Figur 296 gibt eine noch größere ähnliche Schalttafel

derselben Firma wieder, die auch für Turbinen-Unterbrecher-Betrieb zugeschnitten ist.

An Stelle der Schalttafeln sind auch auf Rollen fahrbare und daher leicht bewegliche Schalttische im Gebrauch, die auf ihrer Platte alle Nebenapparate übersichtlich angeordnet tragen. Ein solcher Schalttisch von Seifert in Hamburg mit Walter-Schaltung ist in Figur 297 dargestellt. Aehnlich sind die Schalttische der Firma Siemens & Halske in Berlin. Sie enthalten die Apparate für einen dreiteiligen Wehnelt - Unterbrecher nebst einer sechsfachen Regulierung der Selbstinduktion der Primärspule. Stiftlänge und Selbstinduktion können gesondert geschaltet werden, so daß man z. B. für hohe Selbstinduktion einen langen Stift benutzen kann, wobei dann die Unterbrechungszahl zwar sinkt, die Stromstärke aber zunimmt.

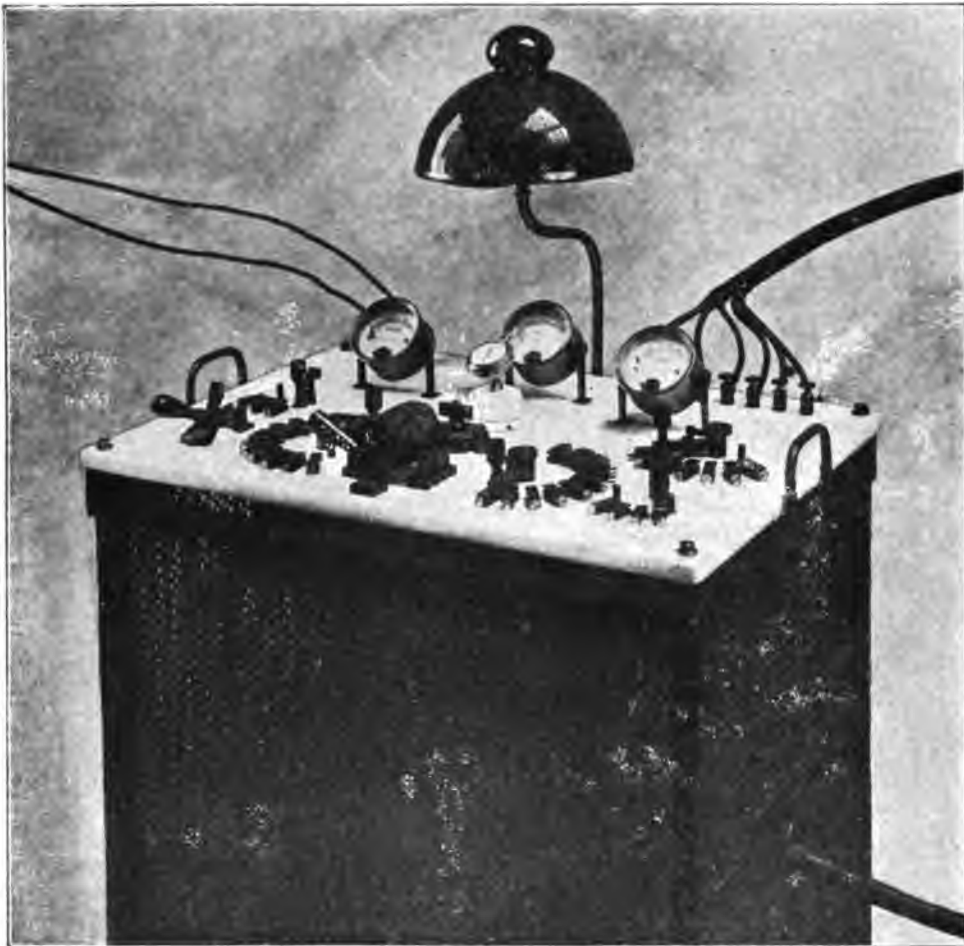


Figur 296

Auch für andere Unterbrecher haben sich die Schalttische eingeführt, sie gestatten dem Experimentator jede notwendige Regulierung vorzunehmen, ohne seinen Platz zu verändern. Figur 298 zeigt einen derartigen Reguliertisch der Firma Dr. Max Levy in Berlin für den Betrieb durch Quecksilberstrahl-Unterbrecher. Er ist sehr elegant aus Eisen mit Marmorplatte

hergestellt. In Figur 299 ist ein ähnlicher Reguliertisch der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft in Berlin abgebildet, der sich sowohl für Turbinen- als auch Stift-Unterbrecher-Betrieb eignet.

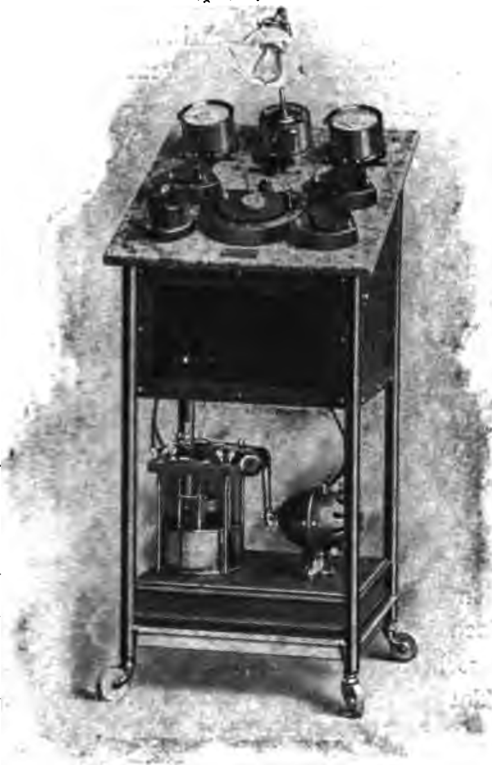
Vielfach wird Schalttafel beziehungsweise Schalttisch noch mit



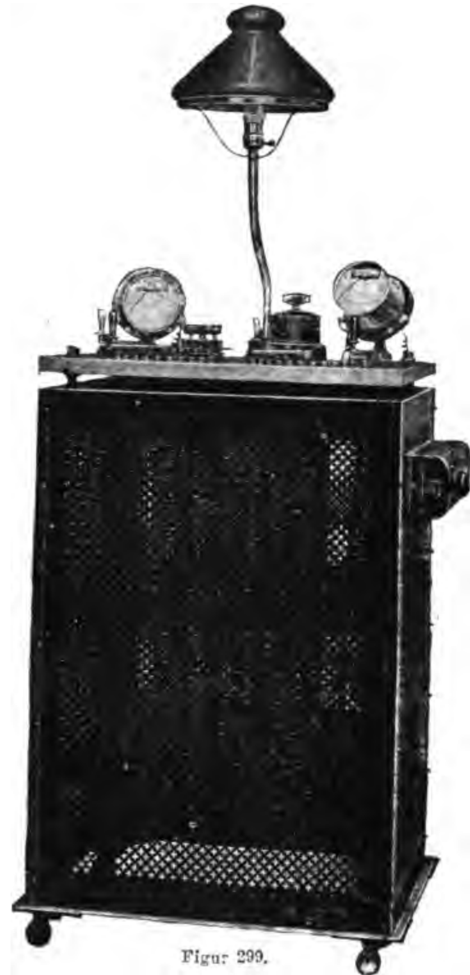
Figur 297.

dem Induktor zu einem vollständigen Instrumentarium kombiniert. Auch Schrankanordnungen dieser Art findet man häufig, worauf wir später bei den Roentgenapparaten noch ausführlicher eingehen werden.

Wo keine Schalttafeln vorhanden sind, müssen die einzelnen Instrumente besonders verbunden werden, wozu im folgenden Abschnitt eine Anleitung gegeben werden soll.



Figur 298.



Figur 299.



Figur 300.

6. An sonstigen, weniger gebräuchlichen Nebenapparaten sei hier nur noch der von Hans Boas in Berlin konstruierte Regelungstransformator (vergl. Figur 300) angeführt, der zwischen Unterbrecher und Induktor geschaltet wird, um die der Primärspule des Induktors zugeführte Spannung variieren zu können. Der Apparat hat allerdings nur geringe Verbreitung gefunden. Andere Nebenapparate wie Momentschalter, Zeitschalter usw., die speziell in der Roentgenstrahlentechnik Anwendung finden, werden im zweiten Teil behandelt werden.

Zehntes Kapitel.

Zusammenschaltung der Apparate.

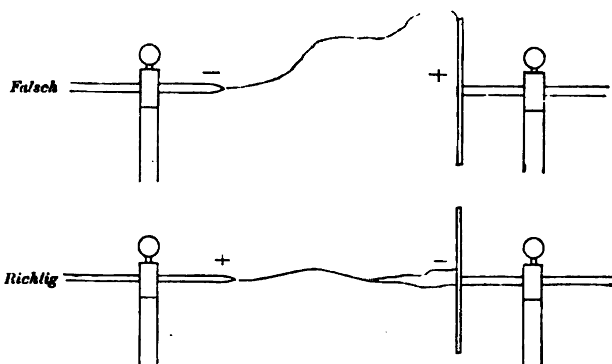
Zur Verbindung der einzelnen Apparate untereinander nehme man der vorhandenen Maximalstromstärke entsprechend starke Drähte. Kupferdrähte von 2 mm Durchmesser, mit guter Isolation versehen, werden in den meisten Fällen genügen. Sehr passend sind überklöppelte Lichtleitungsdrähte; auch Kupferlitzen-Kabel lassen sich gut verwenden.

Die einzuklemmenden Enden müssen gut blankgeschabt sein. Obgleich die Schaltungen nach dem in den vorigen Kapiteln Gesagten sich eigentlich von selbst ergeben, soll doch im folgenden noch eine kurze Zusammenstellung erfolgen. Wir unterscheiden dabei die Verbindungen der Apparate bei Anwendung von Akkumulatorenbetrieb und bei Netzanschluß.

1. Akkumulatorenbetrieb.

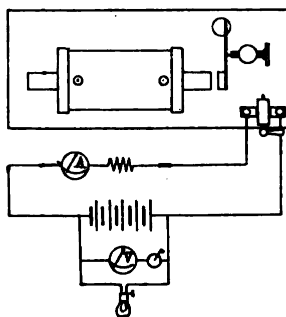
Die einfachste Verbindung findet bei Anwendung der automatischen Unterbrecher statt, weil diese meistens mit dem Induktor zusammen montiert sind. Man schaltet dann die erforderliche Anzahl Akkumulatoren hintereinander und die äußersten Polenden direkt, ohne Anwendung eines Regulierwiderstandes, an die Klemmen des Stromwenders bezw. Induktors. Vorteilhaft ist die Zwischenschaltung einer Sicherung, da solche sowohl die Stromquelle als auch den Induktor vor zu großer Belastung schützt. Die Batterie kann außerdem zur Beleuchtung dienen, was namentlich beim Arbeiten mit Roentgenapparaten sehr erwünscht ist. Durch den Stromwender wird die richtige Stromrichtung ermittelt (vergl. Figur 301) und dann Spitze und Platte auf die größtmögliche Funkenlänge auseinander gezogen.

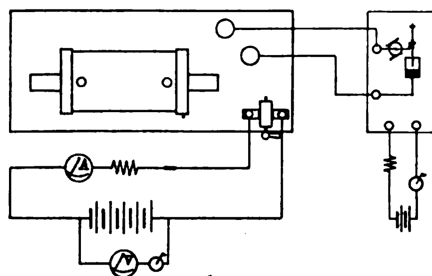
Vollkommener ist die Einrichtung, wenn außer der Sicherung noch ein Regulierwiderstand sowie die Instrumente zur Bestimmung der Spannung und Stromstärke eingeschaltet werden. Das Voltmeter erhält einen besonderen Ausschalter (vergl. Figur 302). Hat man sich von dem richtigen Funktionieren der Apparate überzeugt, so kann der Widerstand allmählich ausgeschaltet werden.



Figur 301.

Wird der am Induktor angebrachte Unterbrecher durch einen anderen ersetzt, so können zwei Fälle eintreten:

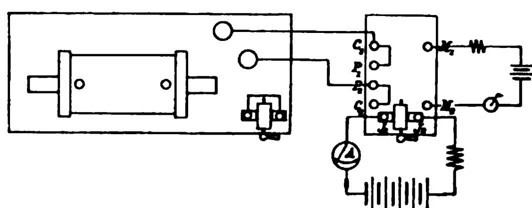

Figur 302.


Figur 303.

Wird der Unterbrecher mit dem primären Stromkreise des Induktors hintereinander geschaltet, so tritt er ohne weiteres an die Stelle des entfernten selbsttätigen Unterbrechers, indem ersterer an die Stromführungssäulen geschaltet wird (vergl. dazu auch Figur 303). Etwas komplizierter wird die Schaltung, wenn der mit dem Induktor hintereinander geschaltete, besondere Unterbrecher einen eigenen Stromwender besitzt. Dieser Unterbrecher hat dann sechs Anschlußklemmen. Der Betriebsstrom wird den beiden Klemmen des Stromwenders am Unterbrecher zugeführt. Zwei der Klemmen werden mit der Primärspule und die letzten zwei Klemmen mit dem Kondensator des Induktors verbunden, indem man je eine Primär- und Kondensatorklemme kurz schließt und mit zwei Drähten mit den Klemmen des abgeschraubten Induktor-Unterbrechers verbindet. Der Stromwender am Induktor wird kurz geschlossen (vergl. hierzu auch Figur 304).

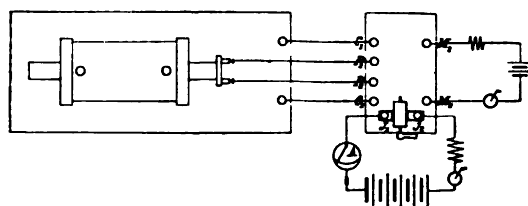
Wir kommen dann zu den Einrichtungen, bei denen der Induktor und Unterbrecher getrennte Apparate sind. Am einfachsten ist dann wieder die Verbindung, wenn der Unterbrecher z. B. ein rotierender Quecksilber-Unterbrecher zum Ersatz des abgenommenen Induktor-Unterbrechers dienen soll und keinen eignen Stromwender besitzt. Die dann nötige Schaltung ist in Figur 303 veranschaulicht.

Hat der gesonderte Unterbrecher aber einen Stromwender, so sind an ihm vier Paar Klemmen vorhanden. Das eine Paar dient zur Betätigung des Unterbrechers, das zweite Paar zur Speisung des Induktors, das dritte zur Verbindung mit der Primärspule und das vierte zum Anschluß des Kondensators. Diese Schaltung zeigt Figur 304; der Stromwender am Induktor ist kurz geschlossen.



Figur 304.

Alle größeren Induktoren besitzen keinen Unterbrecher, auch keinen Stromwender, sondern nur zwei Klemmen zum Anschluß der Primärspule und sofern ein Kondensator vorhanden ist, noch zwei Klemmen für den Kondensator. Die Schaltung ist dann der vorigen ähnlich und in Figur 305 angegeben. Ein Regulierwiderstand ermöglicht es, die Tourenzahl des Motors in weiten Grenzen zu verändern.



Figur 305.

Es wurde bereits früher erwähnt, daß in dem Falle eines durch eine besondere Batterie betriebenen Unterbrechers erst dieser in Gang gesetzt werden muß, ehe der Hauptstrom eingeschaltet wird, und umgekehrt bei der Außerbetriebsetzung.

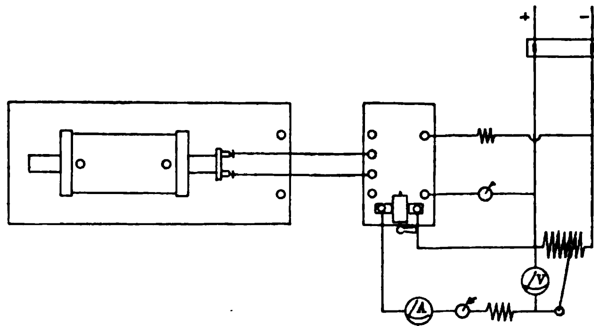
Ein Ausschalter, wie er in der Zeichnung angedeutet wird, ist nicht unbedingt notwendig, weil man den Stromwender als Ausschalter benutzen kann, aber er ist jedenfalls bequem, da man dann den Stromwender in seiner richtigen Lage belassen kann.

2. Starkstrombetrieb.

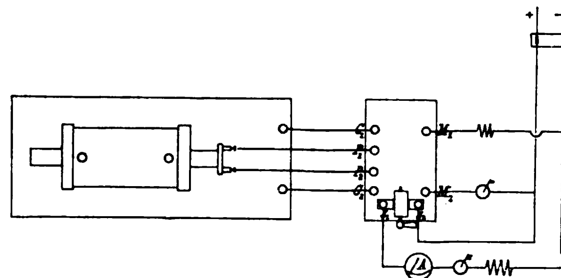
Wir kommen nun zu den Einrichtungen bei Anschluß an das Netz elektrischer Zentralen. Bei diesen können Platin- und einfache Quecksilber-

Unterbrecher nicht direkt angeschlossen werden, man wendet dann einen Nebenschlußwiderstand (vergl. Kapitel VIII, Abschnitt 3, Seite 189 und 190) an.

Figur 306 veranschaulicht eine derartige Schaltung unter Benutzung eines Abzweigwiderstandes für einen Induktor ohne Stromwender, und einen ebenfalls von der Lichtleitung aus getriebenen Motor-Unterbrecher. Auch hier darf der Strom für den Induktor nicht eher geschlossen werden, als bis der Motor in Bewegung ist, nur bei den Quecksilberstrahl- und Ring-Unterbrechern, bei welchen im allgemeinen auch kein Nebenschlußwiderstand erforderlich ist, ist diese Vorsicht nicht nötig (vgl. Figur 307, Schaltung für direkten Netzanschluß)

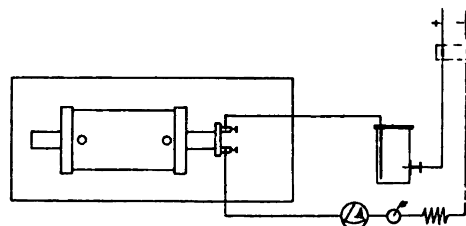


Figur 306.



Figur 307.

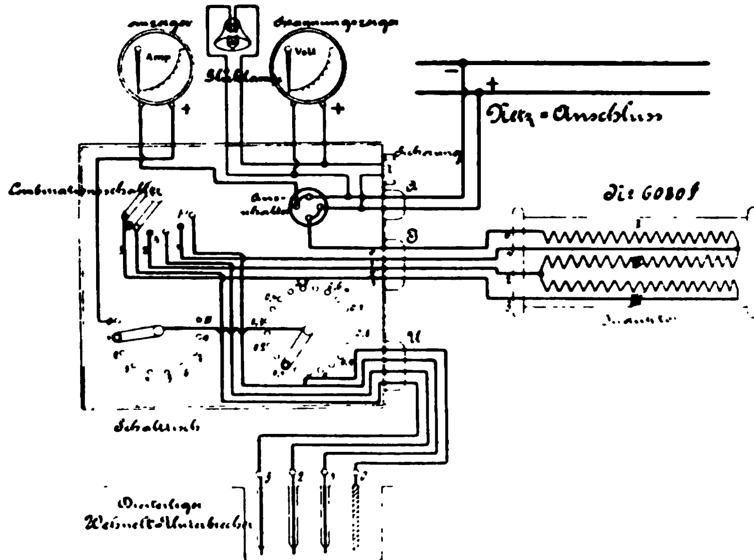
Sehr einfach gestalten sich die Verbindungen bei Anwendung eines Flüssigkeits-Unterbrechers. Der Induktor wird mit dem Unterbrecher und einem Widerstand in Serie geschaltet. Beim Wehnelt-Unterbrecher (Figur 308) ist darauf zu achten, daß die Platinspitze mit der positiven Klemme der Lichtleitung verbunden und ein Regulierwiderstand mit genügender Selbstinduktion genommen wird. Ein Kondensator ist nicht erforderlich, die Klemmen eines etwa am Induktor vorhandenen Kondensators werden nicht angeschlossen.



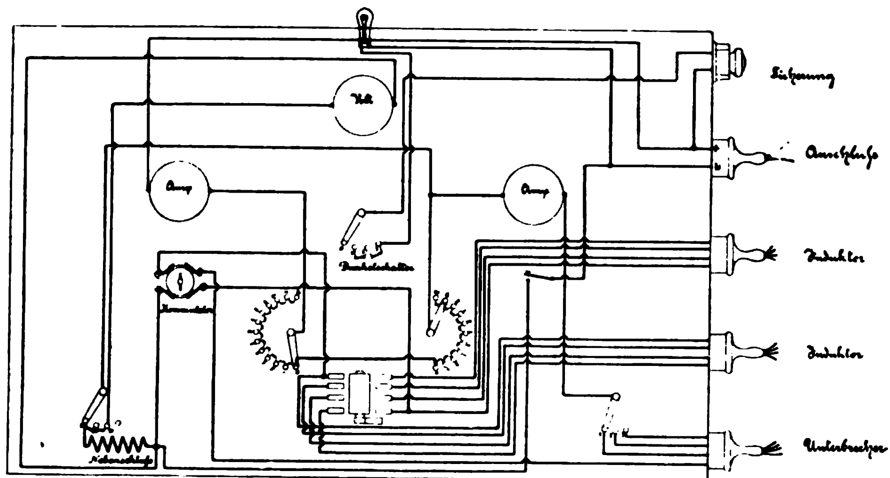
Figur 308.

Für mehrteilige Wehnelt-Unterbrecher und variable Selbstinduktion der Primärspulen werden die Schaltungen entsprechend komplizierter.

Figur 309 zeigt das Schema einer Einrichtung mit Walterschaltung (vergl. S. 140—144) unter Benutzung eines dreiteiligen Wehnelt-Unterbrechers, wie solche in der auf S. 205 abgebildeten Schalttafel der Firma



Figur 309.



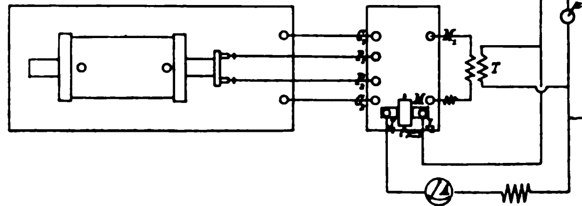
Figur 310.

Siemens & Halske in Berlin ausgeführt wird. Durch einen Kombinationsschalter können drei verschiedene Schaltungen zwischen den verschiedenen

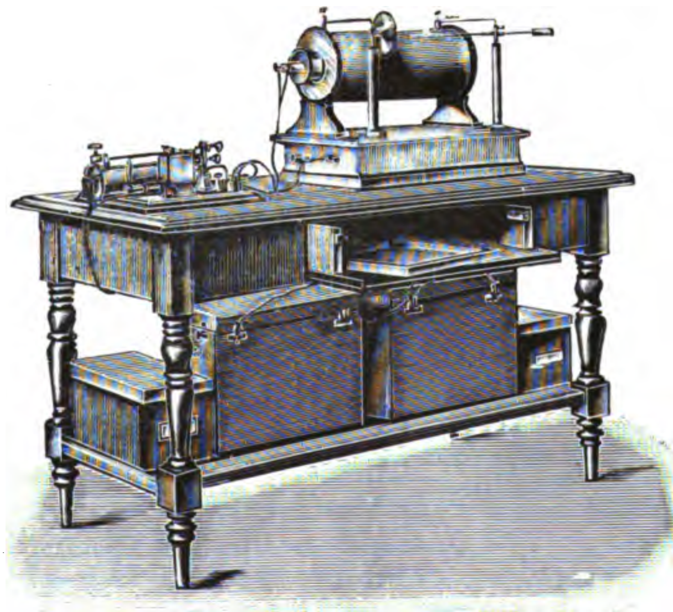
Platinstiften des Wehnelt-Unterbrechers und den verschiedenen Abteilungen der Primärspule hergestellt werden.

Figur 310 zeigt das Schema des großen Schalttisches derselben Firma (vergl. S. 207), bei dem Unterbrecher und Primärwicklung getrennt geschaltet werden können.

In Figur 311 ist schließlich das Schaltungsschema für den Kohlschen Wechselstrom-Unterbrecher gegeben, der auf Seite 156 bis 157 beschrieben worden ist. Vom Leitungsnetz werden zwei Stromkreise abgezweigt, der eine für den Elektromagneten des Unterbrechers, der zweite für den Betrieb des Funkeninduktors (Klemmen J_1 J_2). In den Stromkreis des Elektromagneten wird ein Bogenlampen-Transformator T und ein Bogenlampen-Vorschaltwiderstand geschaltet, um dem Netz weniger Energie zu entnehmen. In den Funkeninduktor-Stromkreis wird ein Stromregulator geschaltet, um mit verschiedenen Stromstärken arbeiten zu können. Ist der Wechselstromunterbrecher mit dem Leitungsnetz und dem Funken-

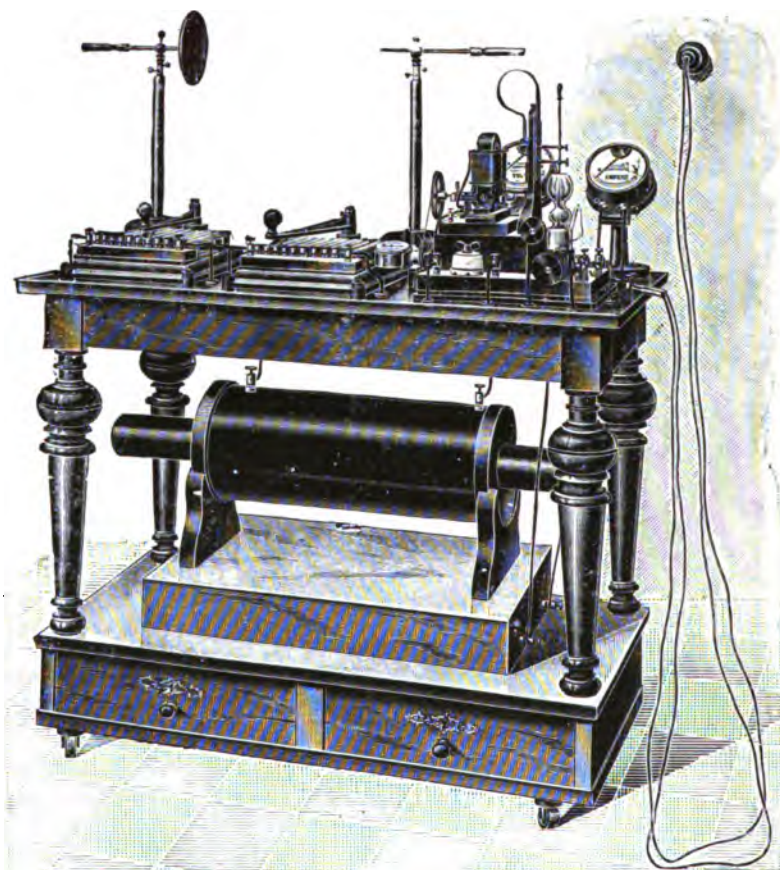


Figur 311.



Figur 312.

induktor richtig verbunden, so wird der Strom für den Elektromagneten geschlossen Der bewegliche Anker *A* wird, wenn er nicht von allein in Schwingungen gerät, mit dem Finger angeschnellt. Vibriert der Anker, so schließt man mit dem Stromwender den Strom für den Funkeninduktor. Sind am Induktor Spitze und Platte für die Funkenstrecke nicht angebracht, so hat man vorher die sekundären Klemmen mit einem besonderen Funkenständer zu verbinden. Man stelle die Funkenstrecke zunächst nur



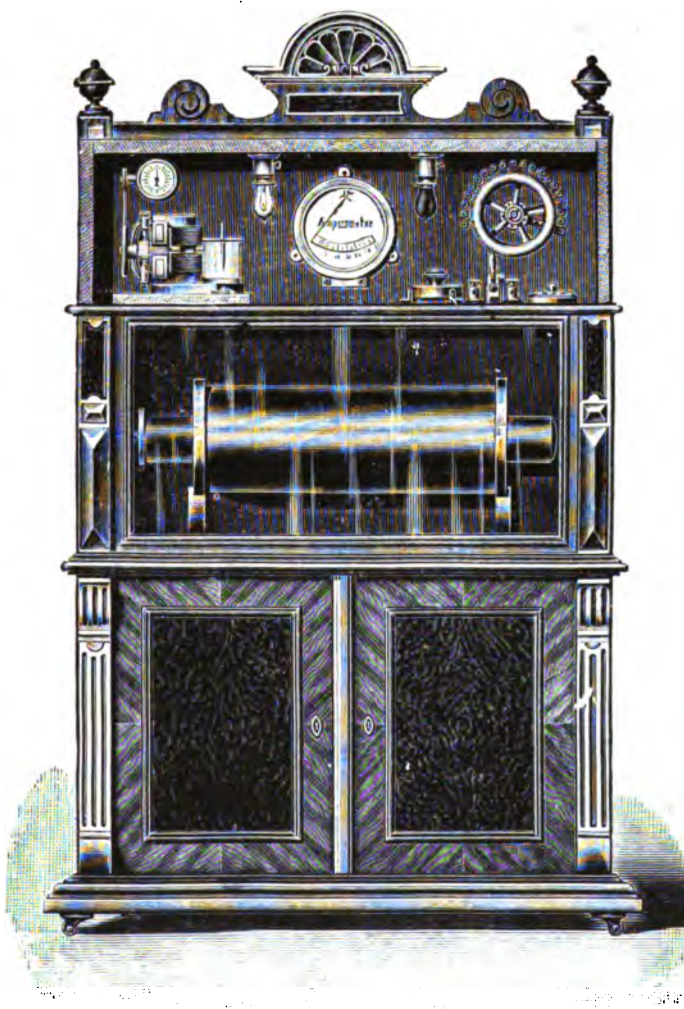
Figur 313.

auf etwa $^1/_3$ der maximalen Schlagweite. Die Funken müssen von der Spitze nach der Mitte der Scheibe springen; springen sie nach dem Rande der Scheibe, so ist die Stromrichtung mittels des Stromwenders umzukehren (vergl. Figur 301). Nunmehr kann man die Entfernung zwischen Spitze und Scheibe, unter gleichzeitiger Vermehrung der Stromstärke

vergrößern, indem man den Widerstand im Stromzuführungskreise ausschaltet.

Aehnlich der soeben beschriebenen Schaltung ist diejenige für den auf S. 159 bis 160 beschriebenen Villard-Chabaud'schen Wechselstrom-Unterbrecher.

Es ist von großem Wert, daß die Apparate handlich und übersichtlich angeordnet werden. Wer dieselben nicht nur vorübergehend, sondern öfter oder gar beständig benutzen will, wird sich dieselben deshalb auf einem besonderen, womöglich fahrbaren Tisch, Pult oder Schrank anbringen.



Figur 314.

Für einen solchen Fall können die im folgenden abgebildeten Einrichtungen als Vorbild dienen.



Figur 312.

In Figur 312 ist ein Instrumentarium-Tisch abgebildet. Auf der oberen Platte sind der Induktor Unterbrecher, Stromstärkeregulator für Induktor- und Unterbrecherstrom, Volt- und Ampèremeter usw. montiert, während die untere Platte zur Aufstellung einer Akkumulatorenbatterie von 36 Ampèrestunden Kapazität benutzt wird.

Aehnlich ausgeführte Instrumententische werden von den Firmen: Ferdinand Ernecke in Berlin und Max Kohl in Chemnitz geliefert.

Einfacher werden diese Instrumentarientische bei Starkstromanschluß, doch ist hier Holz als Träger Starkstrom führender Metallteile nach Möglichkeit zu vermeiden und die Installation nach den allgemein anerkannten Vorschriften des Verbandes deutscher Elektrotech-

niker auszuführen; andernfalls würde auch der Anschluß auf Holz montierter Apparate an das Netz von Elektrizitätswerken auf Schwierigkeiten stoßen. Figur 313 zeigt eine derartige Einrichtung von Max Kohl in Chemnitz zum Anschluß an eine Gleichstromlichtanlage, bei welcher der Induktor zweckmäßig unter dem Tische installiert ist.

Beliebt ist auch die Pult- oder Schrankform. Figur 314 zeigt eine solche Anordnung der Firma Dr. Max Levy in Berlin für Akkumulatorenbetrieb. Der Induktor ist im mittleren Teil des Schrankes montiert; in seinem unteren Teile befindet sich die Akkumulatorenbatterie. In Figur 315 ist ein ähnlicher Schrank für Starkstrombetrieb abgebildet, welcher von der Reiniger, Gebbert & Schall A.-G. in Erlangen gebaut wird Der Induktor ist hierbei oben auf dem Schranke aufgestellt, während der Unterbrecher in seinem Unterbau angeordnet ist. Den mittleren Teil bildet eine Schalttafel, die Ausschalter, Ampèremeter, Stromwender und Regulierwiderstände für Induktor und Unterbrecher enthält.

Aehnlich konstruiert ist der Schrank der Sanitas-Elektricitätsgesellschaft, der in Figur 316 abgebildet ist.



Figur 316.

Neben diesen Einrichtungen seien auch noch diejenigen in Wandtafelform erwähnt, wie sie von der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft in Berlin und Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., in Erlangen (Figur 317) hergestellt werden.

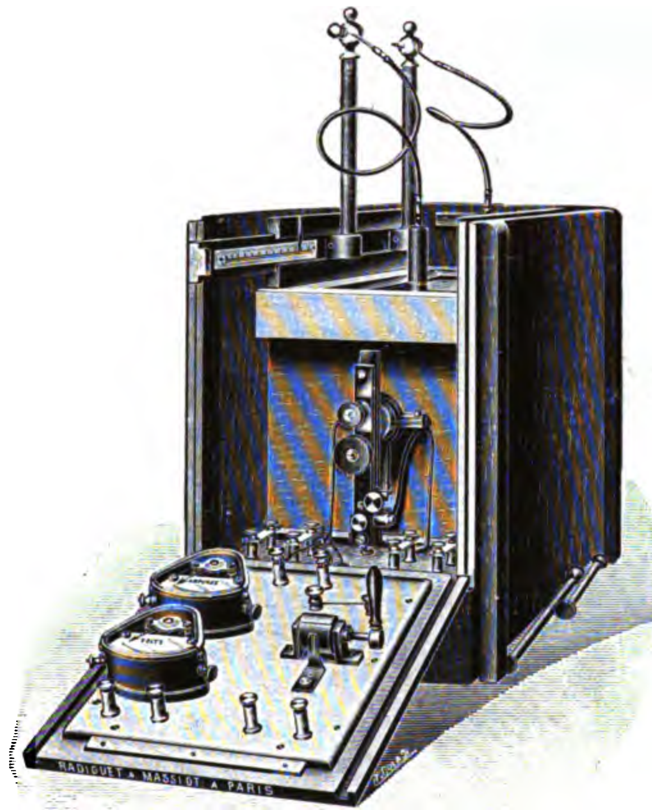
Sehr einfach werden die Instrumentarien bei Anwendung eines Flüssigkeits-Unterbrechers, wenn nur ein einstiftiger Unterbrecher und eine primäre Spule ohne variable Selbstinduktion angewendet wird. Bedeutend komplizierter werden die Anordnungen mit mehrstiftigen Unterbrechern und mehrfach variabler Selbstinduktion der primären Spule des



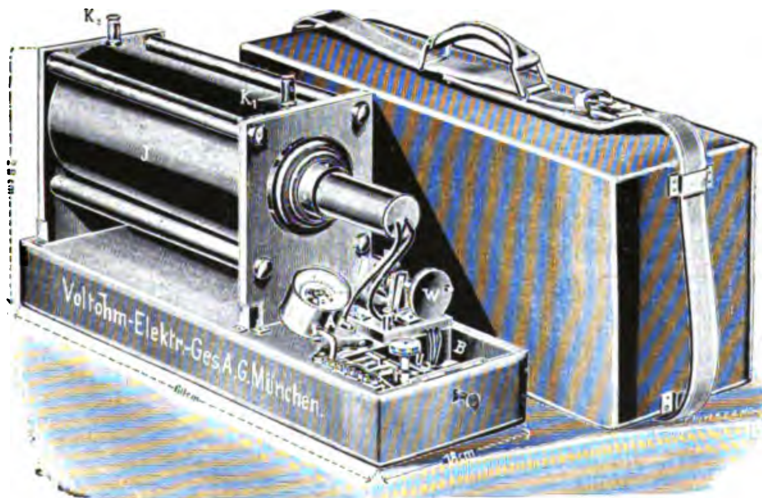
Figur 317.

Induktors. (Walter-Schaltung.) Derartige Instrumente kommen fast ausschließlich für Roentgenzwecke in Betracht und werden wir daher auf dieselben in dem Kapitel: „Roentgen-Einrichtungen“ des zweiten Teils ausführlicher zurückkommen.

Tragbare oder fahrbare Instrumentarien gelangen für Roentgenzwecke in Krankenhäusern, sowie für Telegraphie ohne Draht zur Anwendung. Die Akkumulatorenbatterie pflegt dann durch Verteilung auf mehrere Kästen mit Griffen leichter transportabel gemacht zu werden. Derartige Einrichtungen liefern Cox in London, Dessauer in Aschaffenburg, Max Kohl in Chemnitz, Dr. Max Levy in Berlin, Radiguet und Massiot in Paris (Figur 318), Rosenberg in London, Watson in London und Polyphos Elektricitäts - Gesellschaft in München (Figur 319).



Figur 318.



Figur 319.



Figur 320.

Diese transportablen Einrichtungen werden meist nur für Akkumulatorenbetrieb mit Platin - Unterbrecher, nur in den seltensten Fällen für Starkstromanschluß mit Flüssigkeits-Unterbrecher eingerichtet, wie z. B. bei der von Siemens & Halske in Berlin hergestellten transportablen Einrichtung (Figur 320) mit Funkeninduktor für 25 cm Funkenlänge und Simon-Unterbrecher zum Anschluß an ein Netz von 65 bis 220 Volt, es sei denn, daß dieselben mit einer eigenen fahrbaren Kraftstation verbunden werden, wie wir dies später in dem Abschnitt des zweiten Teiles über Roentgenapparate kennen lernen werden.

Elftes Kapitel.

Andere Methoden zum Betriebe von Funkeninduktoren.

Im Vorhergehenden haben wir ausführlich, sowohl praktisch als auch theoretisch, den Betrieb von Funkeninduktoren mittels Unterbrecher kennen gelernt. In neuerer Zeit sind, zum Teil auf älteren ähnlichen Vorschlägen fußend, mehrere Methoden angegeben und auch in die Praxis einzuführen versucht worden, bei denen an Stelle der Stromöffnung die Stromschließung zur Induktionswirkung herangezogen wird und dementsprechend anstatt eines Unterbrechers ein vibrierender oder rotierender Stromschließer bezw. Polwender Anwendung findet.

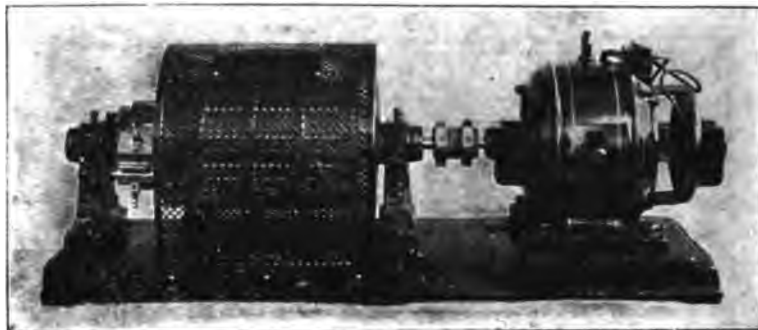
Die Vorgänge, die sich hierbei abspielen sind natürlich wesentlich anderer Art als beim Unterbrecherbetrieb.

Obwohl diese Methoden bisher keine große praktische Bedeutung erlangt haben, so wollen wir der Vollständigkeit wegen doch die wichtigsten Vertreter derselben im folgenden kurz zusammenstellen:

Die einfachste Methode stellt

1. der „Eresco"-Stromschließer der Firma Seifert & Co., Hamburg,

dar. Derselbe arbeitet in genau umgekehrter Weise wie ein Unterbrecher; er schließt den die primäre Spule des Induktors durchfließenden Strom plötzlich, läßt ihn verhältnismäßig schnell ansteigen, um ihn nach Erreichung seines Maximums um so allmählicher wieder abklingen zu lassen. An Stelle der Oeffnungsinduktionswirkung wird also die Schließungsinduktionswirkung ausgenutzt. Der Apparat (vergl. Figur 321) besteht im wesentlichen aus einer mit einem Elektromotor direkt gekuppelten Anordnung, die eine gewisse Aehnlichkeit mit dem Anker einer Dynamomaschine besitzt; zwischen den einzelnen Lamellen des Kollektors sind Widerstände



Figur 321.

geschaltet. Bei einer gewissen Stellung schließen die Bürsten des Kollektors den primären Stromkreis des Induktors kurz; bei der weiteren Rotation wird dann durch die Lamellen allmählich Widerstand vorgeschaltet, bis die Anfangsstellung wieder erreicht ist.

Eine Funkenbildung tritt beim Schließen des Stromes überhaupt nicht auf; auch der Oeffnungsfunke ist bei dem großen Widerstand des Apparates auf ein Minimum herabgesetzt.

Die Zahl der Stromimpulse, die der Umdrehungszahl des Motors entspricht, läßt sich durch Regulierung der Tourenzahl des letzteren in weiten Grenzen verändern. Die normale Zahl beträgt 50 in der Sekunde. Beinahe alle Induktoren, die für Unterbrecherbetrieb gebaut sind, insbesondere aber solche mit hoher sekundärer Windungszahl, lassen sich auch mit dem neuen Stromschließer betreiben, höchstens ist eine Aenderung der primären Wicklung (möglichst geringe Selbstinduktion!) erforderlich. Der sonst übliche Kondensator fällt ganz fort.

Die mit diesem Stromschließer erzielten Leistungen sollen recht befriedigende sein, insbesondere für Roentgenzwecke, weil Ströme falscher Richtung infolge der sehr langsamen Abnahme der primären Stromstärke so niedrig gespannt sind, daß sie eine Roentgenröhre nicht passieren können.

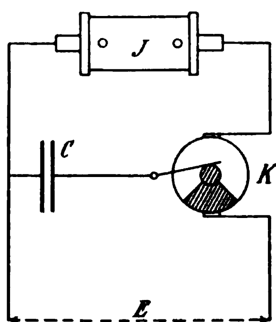
2. Komplizierter ist die zweite Gruppe von Methoden, bei denen die (im Gegensatz zur elektromagnetischen Form beim Unterbrecherbetrieb) in statischer Form aufgespeicherte elektrische Energie transformiert wird, indem ein Kondensator zu hoher Spannung aufgeladen und darauf über die primäre Wicklung des Funkeninduktors entladen wird.

Das älteste Verfahren dieser Art ist

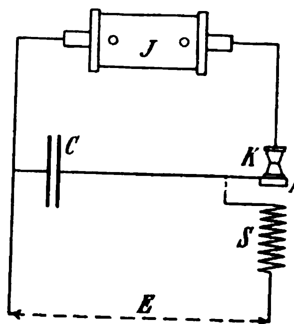
a) die Anordnung von Norton und Lawrence (1897),*) die schematisch in Figur 322 dargestellt ist. Der sehr große Kondensator *C* wird mittels eines rotierenden, durch Motor angetriebenen Kontaktes *K* zuerst von dem Netz hoher Gleichstromspannung *E* geladen und darauf über die primäre Wicklung des Induktors entladen.

An Stelle eines rotierenden Kontaktes kommt bei der ersten

b) Anordnung von Nicola Tesla (1897)**) ein vibrierender Kontakt zur Anwendung (Figur 323). Bei der Ladung zieht der Elektromagnet *S* den



Figur 322.



Figur 323.

Anker *A* an und unterbricht so den Nebenschluß über den Funkeninduktor. Ist der Kondensator geladen, so kehrt der Anker in seine Ruhelage zurück und schließt so den Kondensator über die primäre Wicklung des Induktors kurz. Im Moment der Kondensatorentladung wird auch der Netzstrom wieder über dem Kontakt *K* und Induktor *J* geschlossen. Der Anker wird wieder angezogen und das Spiel wiederholt sich. Infolge der plötzlichen Unterbrechung des über Elektromagnet *S* und die primäre Spule des Induktors (beides beträchtliche Selbstinduktionen!) fließenden Stromes ist die Spannung, mit welcher der Induktor geladen wird, bedeutend höher als die Netzspannung. Später hat auch Tesla den virbierenden Kontakt durch einen rotierenden ersetzt; er benutzte dazu eine Anordnung, die große Aehnlichkeit mit den modernen Quecksilberring-Unterbrechern (Rotax) besitzt. Diese

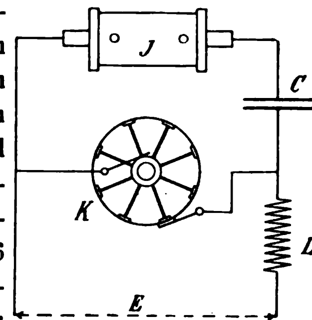
c) zweite Anordnung von Nicola Tesla (1898)***) ist in Figur 324

*) Electrical World, 1897, S. 327.
**) Electrical Review, 1897, S. 327.
***) Vergl. E. T. Z. 19, 1898. S. 672.

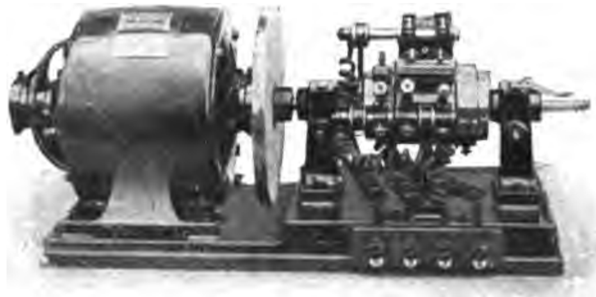
schematisch dargestellt. Die Wirkungsweise ist genau die gleiche wie bei der ersten Anordnung. Hingewiesen sei nur auf die Einschaltung der Selbstinduktionsspule L in die Speiseleitung, um die im Momente der Stromunterbrechung in derselben aufgespeicherte elektromagnetische Energie gemeinsam mit der Netzspannung in den Kondensator überfließen zu lassen und so denselben zu höherer Spannung aufzuladen, als es die Stromquelle allein vermöchte.

Wir kommen nun zur

d) Anordnung von Grisson. Diese, auch „Grissonator" genannt, weist an Stelle des rotierenden Kontaktes der obigen Anordnungen einen rotierenden Kommutator auf (vergl. Figur 325), der durch einen $^1/_4$ PS, Elektromotor angetrieben wird. Der Kommutator besteht aus einem Kollektor, dessen Lamellen wechselweise mit zwei Schleifringen verbunden sind. Auf den Lamellen schleifen zwei einander gegenüberliegende Bürsten und auf den Schleifringen je eine Bürste. Die gebräuchlichste, speziell für Roentgenzwecke geeignete Grissonator-Schaltung ist in Figur 326 wiedergegeben. Wird der Stromkreis geschlossen, so erhält der Kondensator C einen Ladestrom. Die Ladung erfolgt nach der auch theoretisch sich ergebenden Formel äußerst schnell, fast stoßweise; da nach erfolgtem Laden zwischen den auf dem Kollektor schleifenden Bürsten und



Figur 324.

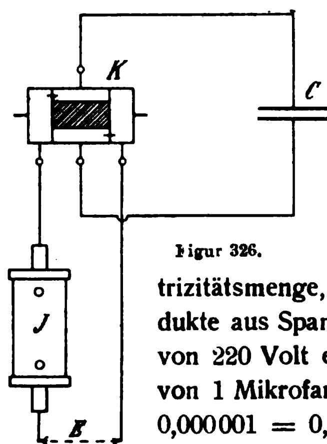


Figur 325.

der Gleichstromquelle keine Potential-Differenz mehr besteht, vollzieht sich bei weiterer Drehung des Kollektors die Stromöffnung funkenlos. Bei noch weiterer Drehung erfolgt wieder ein Stromschluß, durch den aber jetzt der Kondensator in entgegengesetzter Weise als das erste Mal geladen wird. Infolge dieser Umladung fließt jetzt doppelt so viel

Elektrizität als das erste Mal durch den Stromkreis, d. h. die Stromstärke ist doppelt so groß als bei der einfachen Ladung.

Bei weiterer Drehung des Kollektors wird der Stromkreis wieder funkenfrei geöffnet und dieses Wechselspiel wiederholt sich nun. Dieser Ersatz der Ladung durch die Umladung ist das Charakteristische des Grissonators gegenüber den früheren Anordnungen. Wie aus der Wirkungsweise hervorgeht, wird die primäre Spule des Induktors stets von pulsierendem Gleichstrom durchflossen, der außerordentlich schnell ansteigt und verhältnismäßig langsam abklingt.



Figur 326.

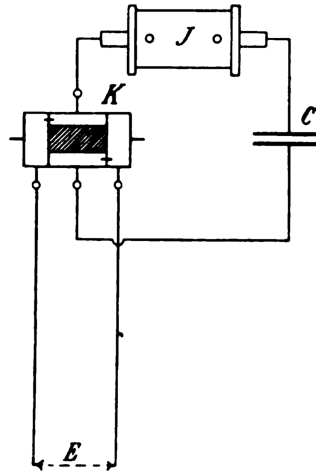
Wie die Theorie lehrt, ist die Elektrizitätsmenge, die ein Kondensator aufnimmt, gleich dem Produkte aus Spannungsdifferenz und Kapazität. Eine Spannung von 220 Volt erzeugt dementsprechend in einem Kondensator von 1 Mikrofarad = 0,000001 Farad eine Ladung von 220 mal 0,000001 = 0,0022 Coulomb. Will man also große Elektrizitätsmengen in Bewegung setzen, so muß zur Erzielung günstiger Effekte bei dem Grissonator ein möglichst großer Kondensator von etwa 100—150 Mikrofarad Anwendung finden.

Legen wir einen solchen von 150 Mikrofarad zugrunde und berücksichtigen, daß wir es nicht nur mit einer einfachen Ladung, sondern mit einer Umladung zu tun haben, so ergibt sich die in einem solchen Kondensator aufgespeicherte Elektrizitätsmenge zu $2 \times 150 \times 0{,}0022 = 0{,}66$ Coulomb. Um die resultierende Stromstärke zu erhalten, brauchen wir dies nur mit der Zahl der Umladungen pro Sekunde, die sich mit der Umlaufszahl des Kommulators ändert, zu multiplizieren; würde diese 100 betragen, so fließen in dieser Zeit $100 \times 0{,}66 = 66$ Coulomb durch den zugrunde gelegten Stromkreis, d. h. 66 Ampère, da der Transport von 1 Coulomb in der Zeiteinheit eine Stromstärke von 1 Ampère ergibt. An dieser Stelle muß aber bemerkt werden, daß man zu einem Fehlschluß gelangen würde, wenn man annehmen würde, daß durch Erhöhung der Kapazität und der Umdrehungsgeschwindigkeit des Kommulators die in Bewegung gesetzte Stromstärke beliebig vergrößert werden kann. Denn unsere obigen Ausführungen setzen voraus, daß sich in der Zeit des Kontaktschlusses der Kondensator vollständig laden kann. Ist dies nicht mehr der Fall, dann bleibt natürlich eine weitere Vergrößerung der Kapazität wirkungslos, es sei denn, daß man zu höherer Betriebsspannung übergeht, was aber im allgemeinen ohne besondere Einrichtungen (Umformer) unausführbar sein wird.

Da nun Papier-Kondensatoren derartiger Kapazität ein solches Instrumentarium bedeutend verteuern würden, abgesehen davon, daß ihre Raumbeanspruchung nicht unbeträchtlich ist, so wendet Grisson an Stelle dieser sogenannte elektrolytische Kondensatoren an. Dieselben bestehen aus Aluminiumzellen, die auf gleichem Prinzip wie die auf Seite 164 beschriebenen elektrolytischen Gleichrichtezellen beruhen, nur daß hier beide



Figur 327.



Figur 328.

Elektroden aus Aluminium bestehen (Unipolarzellen). Um eine möglichst große Oberfläche und damit Kapazität zu erzielen, sind die beiden Aluminiumbleche zickzackförmig gefaltet (Figur 327). Von diesen Zellen, deren jede etwa eine Kapazität von 100 Mikrofarad besitzt, werden 4—12 Stück parallel geschaltet.

Da derartige Unipolarzellen nur dann als Kondensatoren wirken, wenn ihre Elektroden sich in polarisiertem (mit einer Oxydschicht bedeckten) Zustande befinden, so ist die Anordnung so getroffen, daß vor Inbetriebsetzung der Zellen die Elektroden auf kurze Zeit an ein Gleichstromnetz angeschlossen werden können.

Will man den Induktor anstatt mit pulsierendem Strom mit Wechselstrom speisen, so schaltet man die Apparate nach Figur 328.

Für diejenigen Leser, die sich für die mathematische Theorie des Grissonators interessieren, sei angeführt, daß sich die Stromstärke J_t des pulsierenden Stromes zu

$$J_t = \frac{4\,C\,E}{\sqrt{4\,L\,C - R^2\,C^2}}\; e^{-\frac{R}{2\,L}t} \sin \frac{\sqrt{4\,L\,C - R^2\,C^2}}{2\,L\,C}\,t \text{ ergibt,}$$

wenn R so klein ist, daß eine oszillatorische Entladung zustande kommt. Bei Vernachlässigung von R erhalten wir die vereinfachte Beziehung:

$$J_t = 2 E \sqrt{\frac{C}{L}} \sin \frac{t}{\sqrt{C L}}.$$

Die hierdurch in der Sekundärwicklung induzierte elektromotorische Kraft ergibt sich zu

$$M \frac{d J t}{d t} = \frac{2 M}{L} E \cos \frac{t}{\sqrt{C L}},$$

deren Maximum beim Beginn der Umladung (zur Zeit $t = 0$) liegt: $= \frac{2 M}{L} E$, d. h. der Ladespannung des Kondensators und dem Transformationskoeffizienten des Induktors proportional ist.

e) Endlich sei noch auf die Vorschläge von Burstyn (1912) hingewiesen, deren nähere Beschreibung in der Elektrotechnischen Zeitschrift 33, S. 1109, 1912 und Elektrophysikalischen Rundschau 4, S. 3—5, 1912 enthalten ist.

Zwölftes Kapitel.

Experimente mit Funkeninduktoren.

Wird ein Funkeninduktor in Tätigkeit gesetzt, so gehen zwischen den mit den sekundären Polen verbundenen Entladern hellblaue Funken über. Um eine möglichst große Schlagweite zu erzielen, ist es vorteilhaft, den bereits beschriebenen Entlader anzuwenden, d. h. die negative Polspitze mit einer runden Messingscheibe zu vertauschen. Ueber die normale Funkenlänge hinaus, wo starke Büschelentladungen auftreten, die man besonders im Dunkeln gut beobachten kann, und die eine starke Ozonisierung der Luft bewirken, sollte man die Funkenstrecke nicht erweitern, weil dies dem Induktor leicht schaden kann. Bei der maximalen Funkenstrecke schlagen nur die von der primären Stromöffnung induzierten Funken über; verkleinert man die Funkenstrecke wesentlich, so gehen auch die Schließungsfunken über, die Funken werden kräftiger und zahlreicher und erscheinen dem Auge schließlich als eine gelbe bis gelbrote Flamme. Besonders bei sehr hoher Unterbrechungszahl des primären Stromkreises macht die Entladung den Eindruck eines kontinuierlichen Flammenbogens. Dieser Flammenbogen besteht aus zwei Teilen, einem helleuchtenden, blauen

Lichtstreif in der Mitte, umgeben von einer gelben, weniger leuchtenden, flammenartigen Aureole. Man kann die Trennung beider dadurch hervorbringen, daß man die Entladung zwischen den Polen eines kräftigen Elektromagneten vor sich gehen läßt. Der helle Lichtstreif wird dadurch nicht geändert, die lichtschwache Aureole dagegen wird zu einer halbkreisförmigen Scheibe zusammengedrückt, deren Ebene auf der Verbindungslinie beider Pole senkrecht steht. Daß aber der gelbe Flammenbogen kein kontinuierlicher Strom ist, sondern ebenfalls aus einzelnen Entladungsfunken zusammengesetzt wird, kann man deutlich erkennen, wenn man in die Entladung von der Seite kräftig hineinbläst, oder indem man die Entladung in einem schnell rotierenden Spiegel betrachtet, oder noch besser, indem man von dem Flammenbogen kinematographische Aufnahmen macht. Verfasser hat viele derartige Aufnahmen des Entladungsflammenbogens bei einem mit Flüssigkeits-Unterbrecher betriebenen Induktor gemacht, um so die Unterbrechungen zu zählen. Von einer gewissen Unterbrechungszahl an kann man dabei die überraschende Tatsache feststellen, daß sich die einzelnen, aufeinander folgenden Unterbrechungsfunken in derselben Bahn bewegen. Jeder überspringende Funke sucht sich nämlich den, wenn auch nicht kürzesten, so doch am leichtesten zu passierenden Weg aus. Nun leitet aber erwärmte Luft besser als kalte, und somit wird jeder folgende Funke einen ihm vom vorhergehenden Funken angewärmten Luftkanal vorfinden und diesen einschlagen.*)

Im allgemeinen ist die Anzahl der Funkenentladungen gleich der Anzahl der Unterbrechungen im primären Stromkreise, jedoch kann man bei sehr kräftigen Entladungen bei jeder primären Stromunterbrechung mehrere Funken in der sekundären Entladung nachweisen, die langsam schwächer werden. Figur 118 auf Seite 91 zeigt eine derartige, durch Abblasen des Funkens erhaltene, geschichtete Einzelentladung aus einem Induktorium von Klingelfuß in Basel. Diese Vielfachfunken folgen sehr viel schneller aufeinander als die vorher erwähnten, von mehreren aufeinander folgenden Unterbrechungen herrührenden Einzelfunken, verlaufen aber ebenfalls in parallelen Linien von prachtvoller Zeichnung. Nach der Klingelfuß'schen Theorie, die wir im 5. Kapitel, Abschnitt 16 kennen gelernt haben, beruhen diese mehrfachen, in der Intensität rasch abnehmenden Funken auf elektrischen Schwingungen im primären Stromkreise und geben ein ausgezeichnetes Mittel an die Hand, die Schwingungszeit des aus Selbstinduktion und Kapazität gebildeten primären Systems vom Induktor zu berechnen.

Schaltet man parallel zu den sekundären Klemmen eines Induktors eine Leydner Flasche, so wird in ihr die Elektrizität bis zu einem gewissen

*) vergl. hierzu E. T. Z. 21, S. 152—154 (1900).

Grade angehäuft, ehe ein Ueberspringen des Funkens zwischen den Entladern erfolgt. Letztere müssen dabei näher aneinander, mindestens auf die Schlagweite der Flasche gestellt werden. Diese Funken sind dann zwar viel kürzer, aber sehr viel kräftiger, sehr hell und von lautem Knall begleitet.

Die sehr bedeutende mechanische Kraft solcher Entladungsschläge kann man an dem Durchschlagen von Glasplatten zeigen, ein Experiment, welches vorzüglich dann gelingt, wenn man auf die zu durchschlagende Mitte der Glasplatte beiderseits einen spitzen Metallstab durch Siegellack aufkittet.

Die Entladungsfunken sind sehr reich an den chemisch wirksamen blauen, violetten und ultravioletten Strahlen, zumal bei Anwendung von Elektroden aus Aluminium, Kadmium etc., sie werden deshalb oft als Ersatz des Bogenlichts für therapeutische Zwecke (Finsenbestrahlung) angewendet. Man läßt sie zu diesem Zweck innerhalb einer mit einem Quarzfenster versehenen Kapsel überspringen, welche auf die zu behandelnde Körperstelle gedrückt wird.

In physikalischer Hinsicht geben die starken Funkenentladungen ein gutes Mittel zur Untersuchung von Metallspektren ab.

Besonders interessant sind die Funkenentladungen in Röhren mit verdünnten Gasen. Der positive Pol erscheint von einem purpurroten Lichtschein, der beinahe bis zum negativen Pol reicht, umgeben; lezterer ist von einem tiefblauen Licht eingeschlossen, das von der Elektrode durch einen dunklen Zwischenraum getrennt ist. Die rote Lichtgarbe erscheint in einer Reihe abwechselnd heller und dunkler Schichten, die zur Röhrenachse senkrecht stehen. Obgleich man glauben könnte, daß die Röhre kontinuierlich leuchtet, ist dies doch nicht der Fall, vielmehr tritt das Leuchten stoßweise, den Unterbrechungen im Hauptstrom des Induktors entsprechend, auf. Dies kann man in einfacher Weise dadurch zeigen, daß man die Röhre rotieren läßt. Die Röhre hat während der Zeit von einer Unterbrechung zur andern ihren Ort verändert und so sieht man einen vielseitigen Stern (Gassiotscher Stern), eine ganz prachtvolle Erscheinung.

Um die Röhre nicht jedesmal auspumpen zu müssen, kann man dieselbe auch zuschmelzen und erhält dann eine immer zum Gebrauch fertige Röhre, Geißler in Bonn stellt solche nach ihm benannte Röhren von verschiedenen, farbig fluoreszierenden Glassorten, mit den verschiedensten Gasen und Flüssigkeiten gefüllt, in sehr interessanten Formen her, die sehr preiswert sind.

Das Aussehen einer solchen Geißlerschen Röhre ist je nach der Luftverdünnung in ihr, ein sehr verschiedenes. Wird während des Funkendurchganges der Druck in der Röhre durch fortgesetztes Auspumpen erniedrigt, so dehnt sich das bläuliche Glimmlicht am negativen Pole immer

weiter aus, das positive rote Licht geht zurück. Bei sehr starker Evakuierung (1 Millionstel Atmosphäre und darunter) endlich sind nur noch die von der Kathode ausgehenden Strahlen vorhanden, diese folgen aber nicht mehr den etwa in der Röhre vorhandenen Krümmungen, wie es bei Röhren mit mäßiger Luftverdünnung der Fall ist, sondern sie pflanzen sich geradlinig fort. Treffen sie dabei auf die Glaswand der Röhre, so tritt an diesem Punkte ein lebhaftes Fluoreszieren des Glases ein. Diese teilweise unsichtbaren Kathodenstrahlen strahlen von jedem Punkte der Kathode in einer zu ihrer Oberfläche normalen Richtung aus; gibt man daher der Kathode die Form einer Kugelkalotte, so werden die Kathodenstrahlen in einem Brennpunkte — dem Mittelpunkt der zugehörigen Kugel — vereinigt. Hier werden dann hohe Wärmewirkungen erzielt, so daß z. B. ein dort angebrachtes Platinblech in dem Brennpunkte durchschmilzt. Daß die Strahlen auch mechanische Wirkungen ausüben, kann man an leicht beweglichen Schaufelrädern, Windmühlenflügeln etc. sehen, die in den Röhren angebracht werden können. Mit derartigen Experimenten haben sich namentlich Hittorf (1869), Crookes (1879) und Lenard (1896) beschäftigt, und weisen die Ergebnisse darauf hin, daß es mit ungeheurer Geschwindigkeit (ca. 100000 km in der Sekunde) fortgeschleuderte geladene materielle Teilchen, kleinste Partikel des Kathodenmaterials sein müssen, welche die mit den Kathodenstrahlen verknüpften Erscheinungen hervorbringen. Von diesen hochinteressanten Erscheinungen ist praktisch die Tatsache am bedeutungsvollsten geworden, daß beim Auftreffen der Kathodenstrahlen auf feste Körper eine neue Strahlenart entsteht, die unter dem Namen „X"-Strahlen von Dr. v. Roentgen in Würzburg (1896) zuerst beschrieben worden ist. Diese Strahlen, mit deren Erzeugung und Anwendung wir uns im zweiten Teil etwas ausführlicher beschäftigen wollen, haben geradezu wunderbare Eigenschaften: sie sind für unser Auge unsichtbar, wirken aber sehr stark auf eine photographische Emulsionsplatte; sie durchdringen eine dicke Aluminiumplatte wie gewöhnliche Lichtstrahlen eine Fensterscheibe, werden aber von einer gut durchsichtigen Glasscheibe stark absorbiert. Die Roentgenstrahlen können weder reflektiert, noch gebrochen werden, daher kann man sie weder in einem Brennpunkte vereinigen, noch durch Prismen zerlegen. Sie sind auch im Gegensatze zu den Kathodenstrahlen magnetisch nicht ablenkbar.

Anhang.

Ueber Funkentransformatoren.

Wir haben im vorhergehenden wiederholt darauf hingewiesen, daß man einen gewöhnlichen Funkeninduktor auch direkt mit Wechselstrom (ohne Unterbrecher) speisen kann. Infolge des im Gegensatz zum Unterbrecherbetrieb vollkommen gleichmäßigen Strom-Anstiegs und -Abfalls ist auch der Anstieg und Abfall der sekundären Spannung gleich, das heißt man erhält auch in der sekundären Wicklung Wechselstrom. Da die Stromänderungen viel langsamer verlaufen als beim Unterbrecherbetrieb, wo ja gerade der Unterbrecher dazu dient, den Abfall des Speisestromes ganz erheblich viel steiler zu machen als den Anstieg, so ist natürlich auch die induzierte Spannung eine bedeutend geringere als bei jenem. Die sekundäre Funkenlänge der normalen Induktoren ist daher beim Wechselstrombetrieb sehr gering und beträgt selbst bei den größten Apparaten nur wenige Zentimeter.

Will man bei mit Wechselstrom betriebenen Apparaten große Funkenlängen erzielen, wie dies für manche Zwecke, insbesondere für die unterbrecherlosen Wechselstrom-Roentgenanlagen, die wir im zweiten Teil ausführlich kennen lernen werden, erforderlich ist, so muß man ganz andere Konstruktionsprinzipien zugrunde legen. Zunächst muß man einen gut geschlossenen magnetischen Kreis schaffen, zweitens das Uebersetzungsverhältnis durch Erniedrigung der primären und Vermehrung der sekundären Windungszahl erhöhen. Die nach diesem Prinzip gebauten Apparate nennt man dann „Funkentransformatoren“.

Hingewiesen sei an dieser Stelle noch darauf, daß im Gegensatz zum Funkeninduktoren-Unterbrecherbetrieb, bei dem nach jeder Unterbrechung nur die während des Stromschlusses aufgespeicherte elektromagnetische Energie disponibel ist, und keine Energienachlieferung von der Speisequelle aus erfolgen kann, da ja der Induktor während dieser von lezterer völlig getrennt ist, hier beim Funkentransformatoren-Wechselstrombetrieb bei einer Ueberlastung der sekundären Spule stets Energie von der Wechselstromquelle, mit der der Transformator ja dauernd in Verbindung steht, nachgeliefert wird. Hieraus ergeben sich wichtige Unterschiede, besonders in der Stromkurvenform, worauf wir noch ausführlicher zurückkommen werden. Endlich sei auch noch bemerkt, daß die sekundäre Spannung beim Transformator auch von der Wechselzahl abhängt, da z. B. ein schneller verlaufender Wechselstrom auch eine steilere Stromkurve besitzt, während beim normalen Funkeninduktoren-Betrieb eine derartige Abhängigkeit von der Unterbrechungszahl nicht besteht.

Konstruktion, Bau und Betrieb von

Funkeninduktoren

und deren Anwendung,

mit besonderer Berücksichtigung der

Roentgenstrahlentechnik

Von

Ernst Ruhmer

II. Teil: Roentgenstrahlentechnik

2. neu bearbeitete und erweiterte Auflage

Mit 223 Abbildungen

1914

Nikolassee bei Berlin

Administration der Fachzeitschrift „Der Mechaniker"

Inhaltsverzeichnis

Teil II: Roentgenstrahlentechnik

Dreizehntes Kapitel.

Einleitung.

Allgemeines über Kathoden- und Roentgenstrahlen.

Um die sich in einer Roentgenröhre abspielenden Vorgänge besser zu verstehen, wollen wir uns zunächst kurz mit den physikalischen Eigenschaften der Kathoden- und Roentgenstrahlen beschäftigen. Nach der von Crookes auf Grund höchst sinnreicher Versuche aufgestellten Theorie stellen die Kathodenstrahlen einen in schneller geradliniger Bewegung befindlichen Schwarm sehr kleiner, negativ geladener Teilchen dar, die man jetzt allgemein dieser ihrer Ladung wegen als Elektronen bezeichnet.

Hiernach erklärt sich ohne weiteres die Tatsache, daß die von der Kathode ausgehenden Strahlen senkrecht zur Kathodenoberfläche verlaufen, so daß sie mittels einer Hohlspiegel-Kathode nahezu in einen Punkt vereinigt werden können.

Infolge ihrer Ladung verhalten sich die Kathodenstrahlen ähnlich wie ein elektrischer Gleichstrom; sie werden durch einen Magneten oder Elektromagneten in gleichem Sinne wie ein von einem Gleichstrom durchflossener biegsamer Leiter abgelenkt (Braun'sche Röhre, siehe Figur 235 auf Seite 169). Auch ihre elektrostatische Ablenkbarkeit (Wehnelt-Braun'sche Röhre, siehe Figur 241 auf Seite 172) ergibt sich aus der Ladung der Teilchen von selbst; man kann letztere übrigens auch direkt dadurch nachweisen, daß man in dem Strahlenweg eine Metallplatte anordnet, die dann negativ geladen wird.

Auf verschiedene Weise hat man berechnet, daß die Masse der Teilchen eines Kathodenstrahles etwa $^1/_{1800}$ der Masse eines Wasserstoffatomes beträgt. Die Geschwindigkeit und damit die magnetische Ablenkbarkeit ist verschieden und kann bis zu etwa $^1/_3$ der Lichtgeschwindigkeit betragen. Auf diese hohe Geschwindigkeit sind auch die überaus starken Wirkungen der Teilchen, trotz ihrer Kleinheit, zurückzuführen.

Mit der Geschwindigkeit der auf die Antikathode auftreffenden Kathodenstrahlen ändert sich auch das Durchdringungsvermögen der von dieser ausgehenden Roentgenstrahlen.

Je größer die Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen ist, um so größer ist auch das Durchdringungsvermögen der durch sie erzeugten Roentgenstrahlen. Diese Geschwindigkeit hängt nun wieder von der Potentialdifferenz ab, mit welcher die Kathodenstrahlenröhre gespeist wird. Je größer also die Speisespannung der Kathodenstrahlenröhre, um so durchdringendere oder härtere Roentgenstrahlen, je niedriger die Speisespannung, um so weniger durchdringungsfähige oder weichere Roentgenstrahlen werden erzeugt.

Die Potentialdifferenz ist aber im allgemeinen wieder von dem inneren Widerstand der Röhre und dieser vom Gasdruck derselben abhängig. Auf diese Weise erklärt sich, warum eine luftleerere Röhre härtere Strahlen liefert als eine weniger luftleere.

An dieser Stelle sei noch darauf hingewiesen, daß sich die Potentialdifferenz nicht allein mit dem Vakuum der Röhre, sondern auch schon während jeder einzelnen Entladung durch die Röhre ändert, insofern eine solche eine Art Durchbruchswiderstand darstellt. Ist der Widerstand erst einmal überwunden, so sinkt derselbe beträchtlich, mithin auch die Potentialdifferenz an den Elektroden der Röhre. Die Kathodenstrahlengeschwindigkeit ändert sich infolgedessen während jedes einzelnen Stromdurchgangs, so daß man in Wirklichkeit ein Gemisch von Kathodenstrahlen größerer und kleinerer Geschwindigkeit und demgemäß auch ein solches von Roentgenstrahlen verschiedener Durchdringungsfähigkeit erhält.

Da die Art dieses Strahlengemisches von dem Spannungsverlauf an den Elektroden während jeder Entladung abhängt, so ist es selbstverständlich, daß auf dasselbe auch die Betriebsart der Röhre von Einfluß ist. Hiernach erklärt sich auch die Verschiedenheit der Strahlung einer und derselben Röhre z. B. bei Gleichstrom-Unterbrecher- und unterbrecherlosem Wechselstrombetrieb (vgl. hierzu Seite 232, letzter Absatz).

Die Kathodenstrahlen werden von Metallen und Glas verhältnismäßig stark absorbiert. Daher kommt es auch, daß die Umsetzung der Kathodenstrahlen in Roentgenstrahlen fast ausschließlich an der Oberfläche der Antikathode vor sich geht.

Treffen die Strahlen auf Glas, so erregen sie in demselben Fluoreszenz. Bei einer Roentgenröhre rührt die Fluoreszenz, die sich über die vor der Antikathode gelegenen Halbkugel nahezu gleichmäßig erstreckt, natürlich nicht mehr von dem ursprünglichen Kathodenstrahlenbündel her, auch nicht von den von der Antikathode ausgehenden Roentgenstrahlen, sondern vielmehr von der sekundären Kathodenstrahlung, die man als einen an der Antikathode diffus reflektierten Teil des ursprünglichen Kathodenstrahlenbündels ansehen kann und die sich innerhalb der Röhre in ähnlicher Weise nach allen

Richtungen hin ausbreitet wie die Roentgenstrahlung. Da aber die durch diese sekundäre Strahlung erzeugte Fluoreszenz mit der Roentgenstrahlung in gewissem Zusammenhang steht, so läßt sich eine Roentgenröhre in gewissem Grade schon nach diesem Fluoreszenzlicht beurteilen (scharfe Teilung).

Die sekundären Kathodenstrahlen werden in der Röhrenglaswand vollständig absorbiert und setzen sich in derselben teils in Wärme, teils in Roentgenstrahlen um; letztere bezeichnet man als sekundäre Roentgen- oder Glasstrahlen

Gehen wir nun zu den Roentgenstrahlen über. Im Gegensatz zu den Kathodenstrahlen können dieselben weder magnetisch, elektromagnetisch noch statisch aus ihrer gradlinigen Bahn abgelenkt werden. Die Roentgenstrahlen lassen sich auch weder reflektieren, brechen noch beugen. Ob es sich bei den Roentgenstrahlen ebenfalls um materielle Teilchen handelt, die in diesem Falle keine Ladung aufweisen dürften, oder um sehr schnelle Aetherschwingungen, hat bis heute noch nicht einwandsfrei entschieden werden können.

Neben der Wirkung auf die photographische Platte und Anregung gewisser Stoffe zur Fluoreszenz, die auch zur Roentgenographie und Roentgenoskopie praktische Anwendung finden, muß auch noch ihre Einwirkung auf organische Zellen des menschlichen Körpers hervorgehoben werden (Roentgentherapie). Auch anorganische Stoffe werden nach längerer Bestrahlung verändert. Außer der Einwirkung auf Bromsilber (Zersetzung) ist hier die auf Selen (Widerstandsverminderung), ferner auf Jod und Quecksilberverbindungen, (Verwandlung löslicher Salze in unlösliche), endlich auch auf gewöhnliches Glas (gelbe beziehungsweise violette Färbung) anzuführen; auf letzterer beruht auch die Erscheinung, daß eine längere Zeit im Betrieb gewesene Roentgenröhre an den vor der Antikathode gelegenen Teilen der Glaswandung eine intensive violette Färbung aufweist.

Als weitere Eigenschaft der Roentgenstrahlen sei ihre ionisierende Wirkung auf Gase hervorgehoben. Dieselbe besteht darin, daß sich die Moleküle der betreffenden Gase dabei teils positiv, teils negativ laden. Diese geladenen Moleküle bezeichnet man als Ionen. Eine Folge dieser Ionisation ist die Entladung geladener Körper. Die Schnelligkeit, mit der dieselbe erfolgt, ist abhängig von der Zahl der in der Zeiteinheit gebildeten Ionen. Da letztere wieder von der Roentgenstrahlungsintensität abhängt, so kann diese Wirkung der Roentgenstrahlen zur Messung ihrer Intensität herangezogen werden (siehe Kapitel: Roentgenstrahlen-Meßtechnik).

Wie wir gesehen haben, pflanzen sich die Roentgenstrahlen geradlinig fort; da eine Reflektion, Brechung oder Beugung nicht möglich ist, so ist eine Konzentration der Strahlen ausgeschlossen. Es handelt sich also stets um Schattenbilder, die beobachtet beziehungsweise photographiert werden. Da aber die Strahlen nicht von einem einzigen mathematischen Punkte, sondern von einem räumlich ausgedehnten Brennfleck ausgehen, so ergibt sich eine gewisse Unschärfe der Roentgenbilder, welche, wie eine einfache Ueberlegung zeigt, um so größer ausfallen muß, je größer der Brennfleck ist, je näher der zu durchleuchtende Gegenstand an der Antikathode liegt und je größer der Abstand von Objekt und Schirm beziehungsweise Platte ist. Zur Erzielung möglichst scharfer Bilder ist es daher erforderlich, den Abstand von der Röhre möglichst groß zu wählen und den Schirm beziehungsweise Platte unmittelbar hinter dem Objekt anzuordnen. Da die Wirkung der Strahlen mit dem Quadrat des Abstandes zwischen Strahlenquelle und auffangender Fläche abnimmt, so resultiert hieraus eine beträchtliche Vermehrung der aufzuwendenden Strahlungsenergie, die man im allgemeinen durch Verlängerung der Expositionszeit erreichen wird. Dies läßt sich natürlich nur bei ruhenden Objekten durchführen. Handelt es sich um bewegte Körperteile (Herz), so muß man entweder eine Momentaufnahme machen oder, wenn dies technisch unmöglich ist, mit geringerer Bildschärfe vorlieb nehmen. Auf die Bildschärfe ist auch die oben erwähnte Glasstrahlung von Einfluß, die man daher durch eine in der Nähe der Glaswand der Röhre angebrachte Bleiblende mit möglichst kleiner Oeffnung von der bildauffangenden Schicht abblenden muß.

Endlich spielen hier auch die durch die Roentgenstrahlen in dem durchleuchteten Körper selbst erzeugten Strahlen, die sogenannten Körperstrahlen, eine Rolle, deren Intensität mit dem Volumen der von den Roentgenstrahlen getroffenen Körperteile zu und abnimmt. Auch diese Roentgenstrahlung wird durch die bereits erwähnte Blende gemildert, insofern dadurch die Ausdehnung des Bestrahlungsquerschnittes auf das notwendigste Maß beschränkt wird.

Endlich sei noch erwähnt, daß die Absorption der Roentgenstrahlen in festen Stoffen einesteils von der Größe des Atomgewichtes der absorbierenden Atome, andererseits von der Zahl der in der Raumeinheit enthaltenen Atome (Dichte der Lagerung) abhängt.

Vierzehntes Kapitel.

Ueber Roentgenröhren.

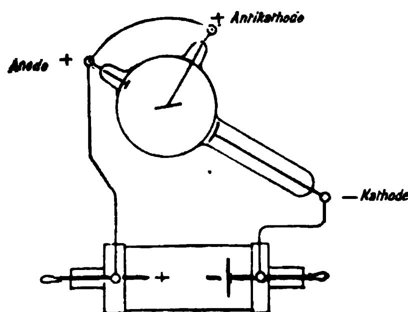
1. Allgemeines über Roentgenröhren und ihre historische Entwicklung.

Bei den anfänglich zur Erzeugung der Roentgenstrahlen verwendeten Röhren entstanden die Roentgenstrahlen durch Auftreffen der sich geradlinig fortpflanzenden Kathodenstrahlen auf der Glaswand der Röhre (zylindrische Form). Für die ältesten Röhren dieser Art ist die Verwendung planer Kathoden typisch. Die hieraus resultierende nicht unbeträchtliche Flächenausdehnung des Entstehungsortes der Roentgenstrahlen zog eine große Unschärfe der mit ihrer Hilfe hergestellten Roentgenbilder nach sich. Um die Kathodenstrahlen mehr zu konzentrieren, ging man daher bald zu den Röhren mit Hohlspiegelkathoden über. Diese ergaben zwar größere Schärfe, besaßen aber wieder den Nachteil, daß insbesondere bei stärkerer Belastung die Glaswand in der Nähe des Kathodenstrahlenbrennpunktes zu schmelzen begann und dann natürlich dem äußeren Luftdruck nicht mehr standhalten konnte. Es war daher ein glücklicher Gedanke, die von den Kathodenstrahlen getroffene Fläche aus Metall zu machen und ins Innere der Röhre zu verlegen. Die praktischen Versuche ergaben bald, daß eine Platin-Antikathode die besten Resultate lieferte. Platin setzt nicht nur mehr Kathodenstrahlen in Roentgenstrahlen um, als alle anderen Metalle, wie z. B. Kupfer oder Nickel, sondern ist auch bedeutend hitzebeständiger, so daß man auf demselben tatsächlich mit großer Annäherung einen Brennpunkt erzeugen kann. Die von diesem Punkte ausgehenden Roentgenstrahlen besitzen nicht nur bedeutend höhere Intensität, sondern ergeben auch schärfere Schattenbilder. Um eine Uebertragung der starken Erwärmung der Antikathode auf die ihr benachbarten Teile der Glaswand zu vermeiden, erwies es sich weiter als vorteilhaft, den die Antikathode umgebenden Teil der Röhre als Kugel auszubilden. Endlich stellte sich zumal bei härteren Röhren, als zweckmäßig heraus, zur Verminderung der Zerstäubung die Antikathode mit dem positiven Pol der Röhre, der Anode elektrisch zu verbinden.

Die so erreichte Grundform aller heutigen Roentgenröhren bildet somit eine Kugel von Glas mit seitlichen, die Elektroden enthaltenden Rohrstutzen. Die Anode besteht meistens aus einer Aluminiumplatte, die Kathode aus einem Hohlspiegel, ebenfalls aus Aluminium, weil dieses von allen in Betracht kommenden Metallen am wenigsten zerstäubt. Die

Platin-Antikathode, auf welche die Kathodenstrahlen auffallen, befindet sich in der Glaskugelmitte und ist mit der Anode leitend verbunden.

Eine derartige Roentgenröhre wird mit der sekundären Entladungsstrecke des Induktors so geschaltet, daß die Platte mit der Kathode, die Spitze mit der Anode der Röhre in Verbindung kommt (vergl. Figur 329). Die auf ihre maximale Schlagweite eingestellte Funkenstrecke des Induktors, lasse man trotz der Röhreneinschaltung parallel bestehen, damit etwaige Ueberspannungen sich hier ausgleichen können. Wächst z. B. während längeren Betriebes der Widerstand in der Röhre, so kann die Entladung über die Funkenstrecke erfolgen, ohne daß die Röhre oder die Sekundärwicklung des Induktors gefährdet wird. Bei richtiger Einschaltung erscheint die Röhre zur Hälfte hellgrün leuchtend, zur Hälfte bleibt sie dunkel (siehe S. 235). Beide Hälften sind scharf getrennt, die grüne Hälfte liegt vor der Platin-Antikathode. Sollte diese eben angegebene Teilung nicht eintreten, so ist die Stromrichtung falsch; man lege dann den Stromwender um. Den falschen Zustand längere Zeit bestehen zu lassen, ist nicht ratsam, weil die Platin-Antikathode dann Kathode ist und das Platin zerstäubt, wodurch die Lebensdauer der Röhre sehr verkürzt wird. Nach richtiger Einstellung der Stromrichtung kann die Stromstärke im Induktor durch allmähliches Ausschalten von Widerstand so weit erhöht werden, daß die Platin-Antikathode eben zu glühen anfängt.



Figur 329.

Die im folgenden beschriebenen Röhrentypen, die zwar kaum noch in den Handel kommen dürften, hier aber zur Darstellung der weiteren Entwicklung der Roentgenröhrentechnik angeführt werden mögen, unterscheiden sich von der oben beschriebenen typischen Grundform im wesentlichen nur durch die Form der Antikathode.

Um nämlich die auf der Antikathode entwickelte Wärme abzuleiten und so die Röhren für starke Beanspruchung geeignet zu machen, hat man verschiedene Wege eingeschlagen.

Eine der ersten Konstruktionen dieser Art bildete die in Figur 330 dargestellte Röhre von Emil Gundelach in Gehlberg*). Die Antikathode derselben besteht aus einem dicken Metallklotz, der einerseits auf seiner unter 45° abgeschrägten Fläche die angeschweißte oder angelötete Platin-

*) D. R.-P. Nr. 109 449.

platte trägt, andererseits an einem dicken Metallrohr befestigt ist, das an dem Glashals der Röhre dicht anliegt und dadurch die Wärme an den von der atmosphärischen Luft umspülten und gekühlten Antikathodenhals ableitet (Luftkühlung).



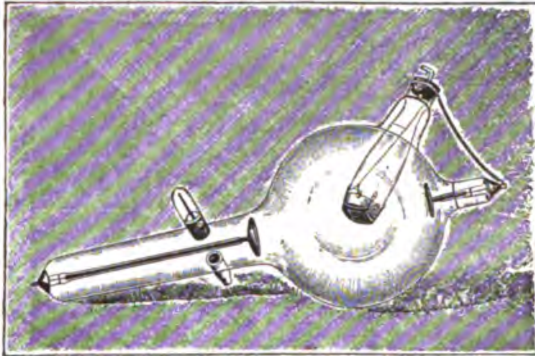
Figur 33).

Eine andere Lösung stellte die Dr. Max Levysche Kontraströhre dar, die im wesentlichen dadurch gekennzeichnet ist, daß die Antikathode aus einem metallischen und einem nichtmetallischen, isolierenden Material zusammengesetzt ist. Ersteres dient zum Auffangen der Kathodenstrahlen und zur Emission der Roentgenstrahlen, letzteres hat einen doppelten Zweck: zunächst leitet es die Wärme der Platinplatte schlecht ab, so daß diese in lebhaftes Glühen gerät und so sehr intensive Roentgenstrahlen aussendet. Dieses Glühen des Platinbleches mußte früher sorgsam vermieden werden, weil sich die Erwärmung der Antikathode sonst auf die sie tragenden Metallteile fortpflanzte und aus diesen die bei der Evakuierung nicht entfernten Gase austrieb, wodurch die Röhre unwirksam wurde. Dieser Uebelstand wird durch die hintergelegte Isolierscheibe, welche schlecht wärmeleitend ist, selbst aber die höchsten Temperaturen verträgt, beseitigt; denn Gase gibt sie selbst im weißglühenden Zustande nicht ab. Ihr fernerer Zweck ist, als Wärmereservoir für die Antikathode zu dienen, wozu sie sowohl durch ihre Masse als auch Wärmekapazität vortrefflich geeignet ist. So schön dieser Gedanke auch war, so konnte die beschriebene Röhre doch nur bei Platin- oder mechanischen Quecksilber-Unterbrechern, allenfalls auch noch bei Quecksilberstrahl-Unterbrechern die mit nicht zu hoher Betriebsspannung arbeiten, angewendet werden. Bei direktem Netzanschluß, Quecksilber-Strahl- bezw. Ring-Unterbrecher, Flüssigkeits-Unterbrecher wird die Antikathode binnen kurzer Zeit so heiß, daß das Platin flüssig wird und herabtropft.

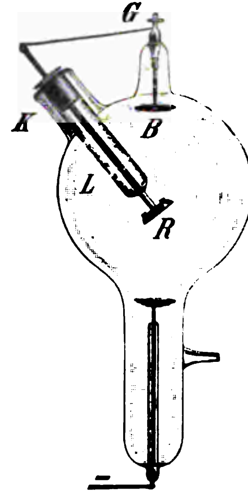
Für diese Fälle ging man bald zu Röhrenkonstruktionen mit bedeutend besserer Wärmeableitung von der Antikathode über. Man konstruierte Röhren, bei denen die Antikathode an einem Kühlwasserbehälter angebracht war, oder bei denen fließendes Wasser zur direkten Kühlung der Antikathode benutzt wurde (Wasserkühlung).

Figur 331 zeigt die Dr. Levysche Kontraströhre mit Wasserkühlung. Einen weiteren Fortschritt stellte die in Figur 332 abgebildete Hirschmann'sche Wasserkühlröhre dar, bei der ein mit der Antikathode verbundener Metallstab in den Kühlwasserbehälter eintauchte.

Bei den Röhren, die durch fließendes Wasser gekühlt werden sollten, mußte die Verbindung des Wasser zuführenden Schlauches mit der Wasser-



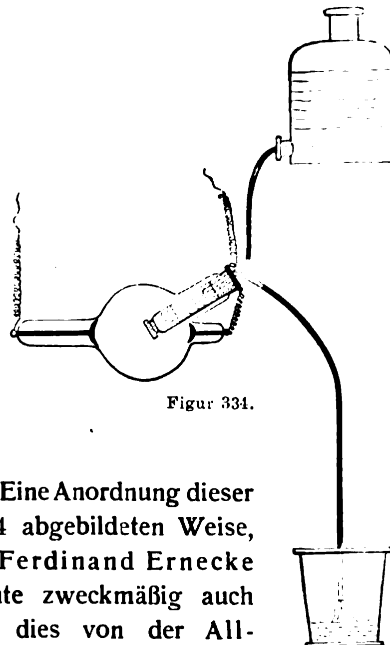
Figur 331.



Figur 332.



Figur 333.



Figur 334.

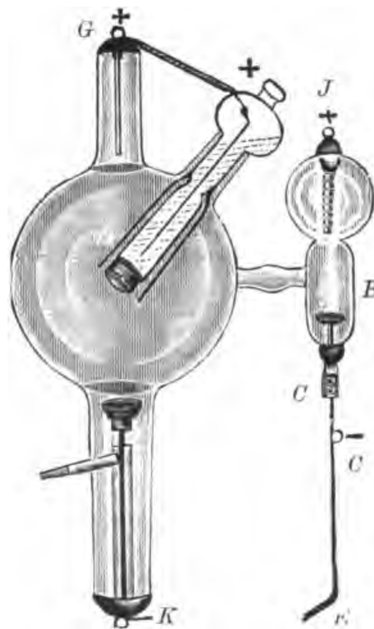
leitung (Erde!) möglichst vermieden werden. Eine Anordnung dieser Art geschah vielmehr in der in Figur 334 abgebildeten Weise, Röhre (Figur 333), und Einrichtung nach Ferdinand Ernecke in Berlin. An Stelle von Wasser konnte zweckmäßig auch blondes Harzöl verwendet werden, wie dies von der All-

gemeinen Elektricitäts-Gesellschaft in Berlin für ihre diesbezüglichen Röhren (Figur 335) empfohlen wurde.

Während bei den im vorhergehenden beschriebenen Wasserkühlröhren die Antikathode über den geschlossenen Kühlbehälter hinübergeschoben und das Platinblech so von dem Kühlwasser durch die Glaswand des Reservoirs getrennt war, hat C. H. F. Müller in Hamburg, auf Anregung von Walter zuerst eine Röhre für hohe Beanspruchung konstruiert, bei welcher die Antikathode den Boden des Kühlwasserbehälters selbst bildet (Figur 336).*) Die Kühlung ist in diesem Fall, wo das Wasser direkt die Rückseite des Antikathodenplatinbleches berührt, eine viel wirksamere als bei den oben beschriebenen Röhren mit indirekter Kühlung. Die Antikathode besteht aus einem Platintopfe, der Antikathodenträger aus einem Glasgefäße, welches vor Benutzung der Röhre bis zu etwa drei Viertel seines Inhalts mit Wasser zu füllen ist. Aehnliche Konstruktionen sind später auch von Burger und Gundelach in den Handel gebracht worden. Trotz der hohen Beanspruchungsfähigkeit derartiger Röhren mit direkter Wasserkühlung der Antikathode ist man in neuester Zeit, wie wir weiter unten sehen werden, doch meist wieder zu den Röhren mit Metall- bezw. Luftkühlung der Antikathode zurückgekehrt. Die diesbezüglichen Konstruktionen weisen aber gegenüber den älteren gewaltige Fortschritte auf, so daß man heute sogar diese Röhren in allen den Fällen, wo es auf höchste Leistungsfähigkeit ankommt, im allgemeinen den Wasserkühlröhren vorzieht.



Figur 335.



Figur 336.

Der letzte wesentliche Fortschritt in der Roentgenröhren-Konstruktion endlich besteht darin, daß man zur Herstellung der Antikathodenspiegel an Stelle

*) D. R.-P. Nr. 113 430.

von Platin oder Iridium Wolfram und zwar in einer Stärke von 6—7 mm verwendet, welches infolge seines hohen Atomgewichtes viel undurchlässiger ist als Platin. Infolge seiner außerordentlichen Schwerschmelzbarkeit (Schmelzpunkt etwa 2800° C.), welche die des Platins bei weitem übertrifft, ist die Einführung desselben in die Roentgenröhrentechnik von großer Bedeutung. Wir haben bereits darauf hingewiesen, daß die Bildschärfe durch die Kleinheit der Stelle, welche für die Erzeugung der Roentgenstrahlen in Frage kommt, bedingt wird (siehe Seite 237). Man hatte natürlich auch schon bisher den Brennpunkt der zusammengeschnürten Kathodenstrahlen auf die Antikathodenplatte so klein wie möglich zu machen gesucht. Es war aber eine Grenze dadurch gezogen, daß bei einem bestimmten Durchmesser die Wärmewirkung auf der kleinen Auftreffstelle so groß wurde, daß Platin mit den verwendeten Unterlagen ohne weiteres schmolz und infolgedessen Löcher in den Antikathoden entstanden. Man konnte deshalb nicht unter eine gewisse Größe des Brennfleck-Durchmessers heruntergehen.

Bei Roentgenröhren, welche mit Wolfram-Antikathoden ausgestattet sind, kann die Erzeugungsstelle der Roentgenstrahlen wesentlich kleiner gemacht werden. Auch hier wird zwar mitunter bei sehr starken Belastungen die Antikathodenplatte etwas anschmelzen. In diesem Falle handelt es sich aber dann nur um eine flache Schmelzstelle, welche die Wirkung fast gar nicht beeinträchtigt.

Der Gedanke, die schwerschmelzbaren Metalle, wie Tantal, Wolfram usw., als Antikathodenmaterial zu verwenden, lag ja nahe. Er konnte aber erst verwirklicht werden, nachdem es möglich geworden war, dieselben in größter Reinheit zu erschmelzen. Als dies der metallurgischen Abteilung der Firma Siemens & Halske gelungen war, hat sich letztere in richtiger Erkenntnis der Wichtigkeit für die Roentgentechnik die Verwendung von reinem Wolfram als Antikathodenmaterial schützen lassen. Derartige Wolfram-Röhren werden von Emil Gundelach, Gehlberg i. Th., und der Siemens & Halske A.-G., Berlin-Nonnendamm, geliefert.

Die gegenwärtig im Handel befindlichen Spezialkonstruktionen der einzelnen Firmen sind in der weiter unten gegebenen Uebersicht zusammengestellt.

Nachdem wir die historische Entwicklung der Konstruktion der Roentgenröhren kennen gelernt haben, wollen wir jetzt noch kurz auf die wichtigsten Vorrichtungen zur Regulierung des Vakuums, bezw. Erneuerung des Gasinhalts der Roentgenröhren eingehen.

2. Ueber die Vorrichtungen zur Regulierung des Vakuums, bezw. Erneuerung des Gasinhalts einer Roentgenröhre.

Das Vakuum einer Roentgenröhre ist, wie wir im 1. Kapitel dieses Teils kennen gelernt haben, auf ihre Wirkung vom größten Einfluß. Die Luftverdünnung ist zwar stets eine außerordentlich hohe (etwa $^1/_{100000}$ der Atmosphäre); allein schon innerhalb ganz enger Grenzen sich haltende Schwankungen in dieser Verdünnung verändern den Charakter der Röhre vollständig. Röhren mit sehr hohem Vakuum geben flaue, kontrastlose Bilder (helle Knochen, helles Fleisch), besitzen aber Strahlen von großer Durchdringungskraft; Röhren mit etwas zu geringer Verdünnung geben kontrastreiche Bilder, haben aber geringe Durchdringungskraft. Erstere nennt man „harte", letztere „weiche" Röhren. Ob eine Röhre hart oder weich ist kann man von vornherein an der Länge der überspringenden Funken an der parallel geschalteten Funkenstrecke des Induktors sehen; eine harte Röhre hat infolge der hohen Luftverdünnung einen größeren Widerstand als eine weiche, bei ersterer werden also längere Funken auf der parallel geschalteten Funkenstrecke überspringen als bei einer weichen.

Uebrigens ändert sich der Widerstand jeder Roentgenröhre während ihrer Benutzung, so daß eine anfänglich für den betreffenden Verwendungszweck gut wirkende Röhre nach kurzer Benutzung schlechter arbeitet. Dies hat zwei verschiedene Ursachen. Die eine beruht darauf, daß beim Gebrauch einer Röhre kleine, an der Glasfläche oder den Elektrodenteilen fest anhaftende Luftbläschen, die bei der Evakuierung nicht entfernt werden konnten, sich losreißen oder daß in den Metallteilen okkludierte Luft durch die Erwärmung ausgetrieben wird. In beiden Fällen sinkt der Grad der Luftverdünnung, die Röhre wird zu weich. Die andere Ursache wirkt genau entgegengesetzt. Durch das Auftreffen der Kathodenstrahlen auf die Antikathode, vielleicht bei der Entstehung der Kathodenstrahlen an der Kathode selbst, werden Metallteilchen losgerissen, durch welche Luft absorbiert wird, so daß der Luftverdünnungsgrad der Röhre steigt. Beide Ursachen arbeiten sich also entgegen. Früher hing es von Zufälligkeiten ab, ob eine Röhre beim Gebrauche härter oder weicher wurde; nachdem man aber in neuerer Zeit dazu übergegangen ist, die Roentgenröhren beim Auspumpen unter dauerndem Stromdurchgang zu erwärmen (siehe Seite 254), um alle am Glase haftenden Luftbläschen zu entfernen, und um die in den Metallteilen okkludierten Gase zu vertreiben, stellt man jetzt gleichmäßig gute Röhren her, die beim normalen Gebrauche allmählich härter werden.

Jede Roentgen-Durchleuchtung bezw. -Aufnahme sollte aber mit einer dem jeweiligen Falle entsprechend möglichst weichen Röhre gemacht

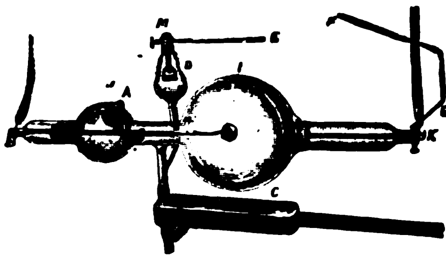
werden. Die Expositionszeit wird dann zwar etwas länger ausfallen, man erhält aber eine gute, kontrastreiche Aufnahme.

Es sind nun mehrere Methoden angegeben worden, um hart gewordene Röhren zu regenerieren.

a) Vorrichtungen zur Erniedrigung des Vakuums.

1. Erneuerung des Gasinhalts mittels in Nebenräumen enthaltener Luft.

Die Polyphos Elektrizitäts-Gesellschaft, München, bringt eine Roentgenröhre mit Doppelkugel in den Handel (Figur 337). Kathode und Antikathode befinden sich in der einen, die Anode in der zweiten Kugel. Bei Herstellung der Luftverdünnung wird nur die eine Kugel erhitzt, so daß die spätere Erwärmung durch den Speisestrom, die nur in der anderen größeren Kugel stattfindet, eine Verschlechterung des Vakuums nicht herbeiführen kann. Die kleinere nicht erwärmte Kugel besitzt somit einen Luftvorrat durch an den Glaswänden anhaltende Luftblasen. Wird diese Luft beim Gebrauch durch Anwärmen losgelöst, so dringt sie in die andere Kugel, um das durch Verstäubung der Elektroden herabgesetzte Vakuum wieder auf den Normalzustand zu bringen.



Figur 337.

Zu dieser Gruppe gehört auch die ältere Burger-Regulierung, bei der seitlich an der Roentgenröhre ein mit derselben kommunizierendes Reservoir angebracht ist, in dem reine und trockene Gase zur Erniedrigung des Vakuums der Roentgenröhre enthalten sind. (Figur 338.)

Die Absperrung beider Räume voneinander wird durch einen Gummiverschluß bewirkt, der mittels einer Spiralfeder auf den Verbindungsweg gedrückt wirkt. Soll das Vakuum der Röhre erniedrigt werden, so wird dieser Verschluß mittels einer Schnur abgezogen; damit die Regulierung nicht plötzlich, sondern allmählich erfolgt, ist der Verbindungsweg mit einem porösen Stoff angefüllt, der das Gas nur langsam hindurchtreten läßt.

2. Aetzkali- und Phosphor-Reguliervorrichtungen.

Siemens & Halske benutzten zuerst eine Vakuum-Reguliervorrichtung, die darin bestand, daß gewisse Stoffe (Aetzkali, Phosphor u. dgl.) Wasser absorbieren, bei Erwärmung


Figur 338

aber in Form von Wasserdampf wieder abgeben. Eine Vergrößerung des Druckes kann dann leicht durch Erwärmen der in einem am Kathodenhals der Roentgenröhre angeschmolzenen Glasröhrchen enthaltenen Stoffe von außen mit einer Spiritus- oder Bunsenflamme bewirkt werden.

Da es aber nicht leicht war, den richtigen Grad und Dauer der Erhitzung zu treffen und so die Gefahr der Ueberregulierung bestand, so ging man bald dazu über die Erwärmung des Röhrchens automatisch durch die Kathodenstrahlen selbst bewirken zu lassen, die in einer besonderen, um jenes Röhrchen von außen her herumgebaute Kathodenstrahlenröhre erzeugt wurden. (Queen & Co., Philadelphia 1897). Da eine solche Reguliervorrichtung während des Betriebes der Röhre automatisch wirkt, kann man mit derartigen Röhren beliebig lange Bestrahlungen beziehungsweise Durchleuchtungen ohne Veränderung des mittleren Härtegrades ausführen.

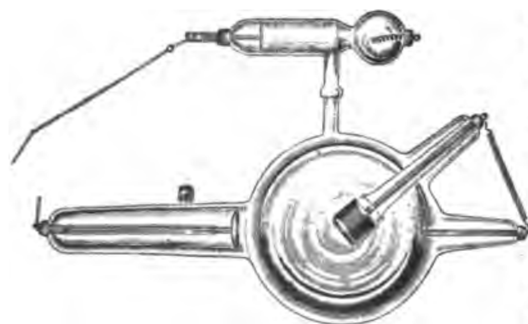
Weniger geeignet sind dagegen solche automatisch wirkenden Reguliervorrichtungen bei Aufnahmen, weil es vorkommen kann, daß bei einer Regulierung des Härtegrades der Röhre sich auch der Brennfleck auf der Antikathode und darauf der Ausgangspunkt der Roentgenstrahlung verschiebt, und dadurch das erzeugte Bild unscharf wird.

3. Marmor-Regulierung.

Erwähnt seien auch die Reguliervorrichtungen, die auf der Abgabe von Kohlensäure aus Marmor beruhen.

4. Kohle-, Glimmer- und Asbest-Regulierungen.

Außer Aetzkali, Phosphor oder dergl. ist zuerst von Hirschmann, Berlin, Kohle, die wahrscheinlich Kohlenwasserstoffe abgibt, als Regeneriermittel vorgeschlagen worden. Kohle wirkt aber, ebenso wie das Aetzkali, erheblich intensiver als die im folgenden angeführten Materialien: Glimmer und Asbest, so daß derartige Regulierungen nur mit größter Vorsicht benutzt werden dürfen, um eine Ueberregulierung zu vermeiden.



Figur 339.

Große Verbreitung hat dagegen die Glimmerregulierung gefunden, die z. B. C. H. F. Müller in Hamburg bei seiner Universalröhre mit selbsttätiger Regulierung des Vakuums anwendet (vergl. Figur 336 und 339).*) Bei ihr wird die Erwärmung

*) D. R.-P. Nr. 161 514.

der Gas (Kohlenwasserstoffe und Wasserdämpfe) abgebenden Substanz durch die Joule'sche Wärme der Entladungsströme bewirkt. An die eigentliche Roentgenröhre ist mittels eines kurzen Rohrstutzens eine Nebenröhre angesetzt, in welchem sich eine mit einer Glimmerplatte bedeckte Kathode befindet, die ein bestimmtes Gas- und Wasserdampfquantum abgibt und dadurch die Härte der Röhre herabsetzt, sobald der Strom dieser Kathode zugeführt wird. Der Vorteil dieser Methode gegenüber derjenigen mittels der oben angegebenen Chemikalien besteht darin, daß die Gase dauernd ausgeschieden bleiben und nicht nach kurzer Zeit wieder resorbiert werden. Das Hindurchleiten des Stromes durch die Nebenröhre erfolgt dadurch, daß man den mit der Kathode verbundenen und in einem Scharnier drehbaren Metallbügel der Kathode der Hauptröhre bis auf einen bestimmten Luftabstand nähert. Soll die Röhre zu Beckenaufnahmen dienen, so muß dieser Abstand 10 bis 11 cm. betragen, bei Handaufnahmen nimmt man 5 bis 7 cm. Daß die Regulierung stattfindet, erkennt man daran, daß zwischen der Antikathode der Hauptröhre und der Spitze der Messingstange Funken übergehen. Die Herabsetzung des Härtegrades kann man dadurch beschleunigen, daß man den negativen Pol des Induktors direkt mit der Kathode der Nebenröhre verbindet und somit den Strom in seiner vollen Stärke hindurchschickt; zu diesem Zweck trägt der Messingbügel eine Oese. Dabei ist indessen ratsam, mit mäßiger Stromstärke zu beginnen, da der Vorgang nur 2 bis 3 Sekunden dauert und man Gefahr läuft, die Röhre zu weich zu machen.

Auch bei der oben beschriebenen Polyphosröhre mit Doppelkugel ist eine auf denselben Prinzipien beruhende Reguliervorrichtung angewendet (Figur 337).



Figur 340.

Auf gleichem Prinzip beruht auch die neuerdings von E. Gundelach bei seinen Röhren eingeführte Regeneriervorrichtung (D. R. G. M. 346 585).

Dieselbe besteht aus einem seitlich an die Roentgenkugel angeschmolzenen Glashohlkörper, welcher im Innern einen kleinen Glashohlkörper trägt, der beiderseits mit durch Tränkung stromleitend gemachten Asbest belegt ist.

Jede Asbestschicht ist mit einem Draht verbunden, der nach außen führt und dort mit umlegbarem Bügel versehen ist. (Figur 310.)

Soll diese Regeneriervorrichtung zur Anwendung gelangen, so wird der kurze Bügel dicht an die Anodenkappe angelegt, während der lange Bügel so weit von der Kathodenkappe entfernt wird, daß bei Stromdurchgang dort ein Nebenschlußfunke entsteht, der etwa halb so lang ist als der Nebenschlußfunke, den das Roentgenrohr nach der Regenerierung besitzen soll. Der Strom geht dann zunächst durch die Bügel und durch das kleine kondensatorähnliche Gebilde der Regeneriervorrichtung hindurch, weil ja die harte Röhre dem Strom zuerst einen höheren Widerstand entgegenstellt. Der Stromdurchgang bewirkt, daß Gase aus den beiden Asbestschichten frei gemacht werden, wodurch das Vakuum und auch der Widerstand der Roentgenröhre selbst erniedrigt wird, so daß nunmehr der Strom durch die Roentgenröhre und nicht mehr durch die Regeneriervorrichtung geht.

Sobald daher am Nebenschlußbügel nur noch vereinzelte Funken überschlagen, kann man die Regenerierung als beendet betrachten. Dann müssen beide Bügel wieder zurückgeschlagen werden.

5. Erneuerung des Gasinhalts durch Zuführung atmosphärischer Luft.

Eine andere Methode, die zuerst von Dr. Max Levy und auch später von W. A. Hirschmann angewendet wurde und neuerdings in verbesserter Form von Heinz Bauer ausgeführt wird, besteht darin, daß der Röhre von außen Luft zugeführt wird, so viel natürlich nur, daß das durch Luftverbrauch in der Röhre erhöhte Vakuum wieder auf den normalen Zustand gebracht wird. Figur 341 zeigt eine Abbildung der Levy'schen Röhre, bei der eine künstliche Undichtigkeit durch einen gut verkitteten Schliff bewirkt werden kann. Diese Röhre ist nur für starken Gebrauch bestimmt, weil andernfalls zu viel Luft von außen eindringt.



Figur 341.



Figur 312.

Bei der jetzt nicht mehr im Handel befindlichen Hirschmann'schen Röhre erfolgte der Luftzutritt durch ein Kapillarröhrchen, welches durch die Schraube *V* (Figur 342) und ein Ventil geöffnet und geschlossen werden konnte.

Das neue Bauer'sche Luftventil, welches sich praktisch durchaus bewährt hat, ist weiter unten im Anschluß an die Bauer-Röhren ausführlich beschrieben.

6. Osmotische Reguliervorrichtung nach Villard.

Eine sehr verbreitete Vorrichtung zum Weichermachen hart gewordener Roentgenröhren ist die von Villard angegebene,*) die auf osmotischer Wirkung beruht. Die Metalle der Platingruppe haben die Eigenschaft, bei Weißglut Wasserstoff diffundieren zu lassen. Wird daher ein einseitig geschlossenes Platin- oder Palladiumröhrchen in den Kathodenhals der Roentgenröhre eingeschmolzen, sodaß das offene Ende ins Innere der Röhre hineinragt, so dringt, wenn das Röhrchen durch eine Spiritusflamme vorsichtig erwärmt wird, Wasserstoff in die Röhre und ermäßigt das Vakuum in derselben. Zum Schutze gegen äußere Beschädigungen ist das Röhrchen mit einer abnehmbaren Glashülse bedeckt. Diese Regulierung hat den Nachteil, daß der Wasserstoff sehr rasch wieder von den in der Röhre enthaltenen zerstäubten Metallteilchen absorbiert wird, so daß man die Regenerierung wiederholen muß. Je älter die Röhre, je intensiver infolgedessen der Innenbelag von zerstäubten Metallen geworden ist, um so kürzere Zeit wird die Osmo-Regenerierung vorhalten. Außerdem scheint sich der Wasserstoff als Ersatzmittel des in der Röhre verbrauchten Gases nicht so gut zu eignen wie Luft, Wasserdampf oder Kohlensäure.

Eine derartige Reguliervorrichtung besitzt beispielsweise die in Figur 331 gezeichnete und bereits beschriebene Kontraströhre mit Wasserkühlung von Dr. Max Levy in Berlin. —

Zum Schluß dieses Abschnittes sei übrigens darauf hingewiesen, daß die Frage, welches Gas am geeignetsten und welche der angeführten Reguliervorrichtungen das für das Arbeiten der Röhre günstigste Gas zuführt, noch ungeklärt ist. Im allgemeinen wird Sauerstoff als unvorteilhaft angesehen, da derselbe leicht zur Oxydation der Elektroden führt. (Vergl. hierzu auch G. Loose, Fortschr. a. d. Geb. d. Roentgenstrahlen. 18. Heft.)

*) D. R.-P. Nr. 103 100.

b) Vorrichtungen zur Erhöhung des Vakuums.

Viele Röhren besitzen auch eine Vorrichtung zum Härtermachen, die dann zur Anwendung kommt, wenn die Röhre durch falsche Behandlung zu weich geworden sein sollte, oder wenn es sich bei vollständig normaler Behandlung beispielsweise darum handeln sollte, unmittelbar nach einer Handaufnahme eine Beckenaufnahme zu machen. (Man wird diese Regulierung übrigens stets nur in Notfällen anwenden, wenn z. B. nur eine Röhre zur Verfügung steht. Im allgemeinen sollten aber, worauf weiter unten nochmals ausführlicher eingegangen wird, für verschiedene Aufgaben eine größere Anzahl Röhren zweckentsprechender Härte zur Verfügung stehen). Man kann zwar bei jeder Röhre das Vakuum dadurch erhöhen, daß man die Stromrichtung umkehrt. Dadurch wird, wie wir gesehen haben, die Platin-Antikathode zur Kathode, und die von ihr abstäubenden Teile absorbieren einen Teil der Luft, indem sie sich als dunkler Niederschlag an den Glaswänden ansetzen. Das ist aber ein großer Nachteil für die Röhre.

Weniger schädlich wirkt die künstliche Metallzerstäubung dann, wenn man diesen Vorgang in einem besonderen Nebenraum derselben vor sich gehen läßt.

Die in Figur 336 abgebildete Müller'sche Universalröhre besitzt eine derartige Vorrichtung zum Hartmachen. Man verbindet den positiven Pol des Induktors nicht wie gewöhnlich mit der Antikathode, sondern mit der Elektrode *J* der Nebenröhre, wobei aber darauf zu achten ist, daß der Hebel *E* nicht mit der Kathode *K* der Hauptröhre in Verbindung stehe. Schaltet man dann den Strom in der Richtung wie früher ein, so wird die kleine Platinhilfselektrode durch die Schließungsströme in sehr starkem Grade gegen die Glaswandung der Nebenröhre zerstäubt und bindet nun in dieser veränderten Lage sofort einen Teil des Gasinhaltes der beiden Röhren. Die Zeitdauer, welche diese Regulierung beansprucht, richtet sich ganz nach dem Grade der Weichheit der Röhre; ist diese sehr weich und soll sie besonders hart werden, so kann dies bis zu fünf Minuten dauern. Will man schneller zum Ziele gelangen, so macht man die Zerstäubungselektrode zur Kathode, muß dann mit sehr schwachem Strome arbeiten, um eine Zerstörung der Elektrode zu vermeiden. Sodann wird der Leitungsdraht wieder zu der Anode der Hauptröhre hinübergelegt und die Röhre ist zur Beckenaufnahme fertig. Selbstverständlich ist dabei, daß die obige Manipulation zu wiederholen ist, wenn die einmalige Umlegung des positiven Leitungsdrahtes nach der spiralförmigen Elektrode hin noch nicht den genügenden Erfolg hatte, und daß anderseits, wenn die

Röhre durch eine zu lange Benutzung dieser Elektrode zu hart geworden sein sollte, dieselbe durch Anwendung der früher beschriebenen Reguliervorrichtung sofort wieder weicher gemacht werden kann.

c) Regulierung der Härte einer Roentgenröhre ohne Vakuumänderung.

Der Vollständigkeit wegen seien hier auch noch einige Vorschläge eingefügt, die Härte, der von einer Röhre ausgehenden Strahlung ohne Veränderung des Vakuums, lediglich durch Veränderung ihres Widerstandes zu variieren. Eine hier anzuführende Röhre nach Wehnelt wurde von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen in Handel gebracht. Die Regulierung des Härtegrades beruhte bei ihr auf der Tatsache, daß durch Aenderung des dunklen Kathodenraumes eine Aenderung des Röhrenwiderstandes und damit der Qualität der ausgesandten Strahlen bewirkt werden kann. Die Konstruktion der Röhre (Figur 343) ist derart, daß sich innerhalb des Kathodenhalses ein verschiebbarer Glaszylinder befindet, der den Kathodenspiegel mehr oder weniger überdeckt und dadurch den Röhrenwiderstand ändert. Die Verschiebung des Glaszylinders erfolgt durch leichtes Klopfen an die Röhre. Als großer Vorteil dieser Röhre wird angeführt, daß das Vakuum der Röhre durch die Regulierung nicht verändert wird und letztere selbst in so weiten Grenzen möglich ist, daß die Röhre sowohl für Hand- als auch für Beckenaufnahmen verwendbar ist.



Figur 343.

Ein anderes Verfahren hat sich neuerdings (1911) Lilienfeld schützen lassen. Es ist dadurch gekennzeichnet, daß das Potentialgefälle an der Kathode vermittels beliebig weit getriebener Gasverdünnung ebenso groß oder größer gemacht wird, als den härtesten zu erzeugenden Strahlen entspricht, und daß die zur Erniedrigung dieses Potentialgefälles erforderliche Leitfähigkeit in einer der Jonisationsvorgänge in höherer Gasdichte ähnlicher Weise (z. B. mittels Wehnelt'scher Oxydkathode) durch einen von dem die Roentgenstrahlen erzeugenden unabhängigen primären Vorgang in beliebigem Maße hergestellt wird.

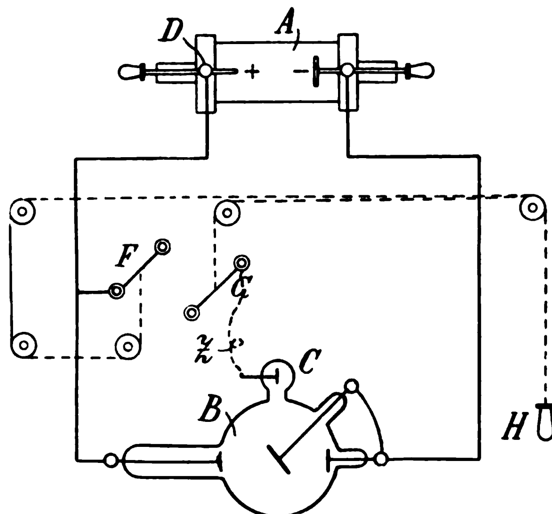
In der Praxis scheinen sich aber diese Reguliermethoden nicht bewährt zu haben, denn die Wehnelt-Röhre wird überhaupt nicht mehr hergestellt und die neue Lilienfeld-Röhre soll für den praktischen Gebrauch viel zu kompliziert sein.

d) Fernregulier-Anordnungen.

Im Anschluß an die Regulier-Vorrichtungen sei noch kurz der Anordnungen zur Fernregulierung gedacht.

In neuester Zeit nämlich, hauptsächlich bei größeren Roentgeneinrichtungen, wo der Arzt in einem Schutzhaus arbeitet, hat sich das Bedürfnis herausgestellt, die Regulier-Vorrichtungen einer Roentgenröhre aus der Ferne betätigen zu können.

Als Beispiel dieser Art sei der Fürstenau'sche Universal-Fernregulator angeführt. Das Prinzip desselben (Figur 344) ist kurz folgendes: In einem Gehäuse stehen sich zwei drehbare Kontakte *F* und *G* gegenüber. In der Ruhelage sind die beiden Hebel, welche die Kontakte tragen, entgegengesetzt gerichtet. Durch einen Handgriff *H* und einer mit demselben verbundenen Zugschnur können die beiden Kontakte einander mit großer Geschwindigkeit genähert werden, so daß sie sich berühren. Sie schnellen nach Loslassen des Handgriffs stets selbsttätig durch Federn wieder in ihre



Figur 344

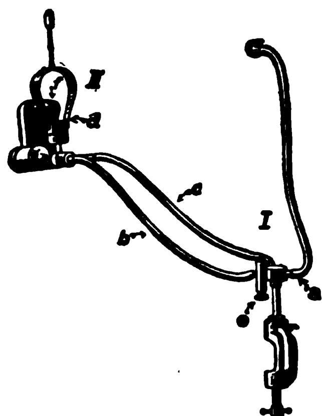

Figur 345.

Ruhelage zurück. Der Kontakt *F* steht nun durch eine feste Verbindung dauernd mit dem Pol *D* des Induktors *A* in Verbindung, der Kontakt *G* ist durch eine flexible Zuleitung *Z* mit der Reguliervorrichtung *C* der Roentgenröhre *B* verbunden; die letztere steht also mit 3 Leitungen in Verbindung, dem Anoden-, Kathoden- und Regulierkabel. Wird nun durch Zug an dem Handgriff *H* eine Verbindung der beiden Kontakte *F* und *G* geschaffen, so fließt der Hochspannungsstrom über die Reguliervorrichtung *C* der Röhre und ihr Vakuum wird herabgesetzt.



Figur 346.

Die äußere Form des Apparates zeigt Figur 345. Oben rechts sieht man die Klemme, die mit dem Induktor verbunden wird, links unten erkennt man das zur Reguliervorrichtung der Röhre führende Kabel und endlich senkrecht herabhängend die Zugschnur, an deren unterem Ende sich der Handgriff zur Betätigung befindet. Der Apparat ist an einem nach allen Richtungen hin beweglichen Stativ montiert.



Figur 347.

An Stelle der mechanischen Fernregulierung kann auch eine pneumatische treten; als Beispiel einer solchen, die sich für jede Roentgenröhre mit Nebenschlußstromregulierung eignet und an derselben nachträglich angebracht

werden kann, sei diejenige von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen (Figur 346) erwähnt. Die Regulierung erfolgt hier durch Drücken eines Gummiballes, wodurch pneumatisch eine Annäherung des Drahthebels an die Kathode stattfindet. Eine Regulierung auf einen im voraus gewählten ganz bestimmten Härtegrad wird ermöglicht durch Begrenzung der Annäherung des Regulierhebels auf eine dem Härtegrad entsprechende Entfernung von der Kathodenkappe durch eine leicht einstellbare Anschlagschraube.

Auch das Bauersche Luftventil, das weiter unten ausführlich beschrieben wird, läßt sich ohne weiteres auf pneumatischem Wege fern auslösen.

Eine weitere Methode der Fernregulierung ist die elektrische, die ohne weiteres bei den Rodde-Röhren (s. Seite 272—274) angewendet werden kann.

Zum Schluß dieses Abschnittes sei endlich noch des Distanzregulators nach Dr. Holzknecht für Röhren mit Osmo-Regulierung gedacht. Derselbe (Figur 347) besteht aus einem kleinen an dem Regulierungsansatz der Röhre anzuklemmenden Gasbrenner, der durch einen Schlauch mit einem an beliebiger Stelle anzubringenden Regulierhahn verbunden ist, so daß die Flamme von dieser Stelle aus so reguliert werden kann, daß sie das kleine Palladiumröhrchen in Rotglut versetzt und dadurch die Vakuumregulierung bewirkt.

3. Allgemeines über die Herstellung von Roentgenröhren.

Die Herstellung der Roentgenröhren gehört zu jenen Fabrikationen, deren Einzelheiten von den in Frage kommenden Fabriken sorgfältig als Geschäftsgeheimnis gehütet wird. Genauere Angaben sind daher schwer erhältlich. Außerdem hat sich jede Glasbläserei im Laufe der Jahre ihre eigene Herstellungsmethode ausgebildet, die mehr oder weniger von der anderer Konkurrenten abweicht.

Im folgenden mag daher nur ein kurzer Ueberblick über die wichtigsten Stufen der Roentgenröhrenherstellung gegeben werden.

Fast alle Roentgenröhrenfabriken beziehen das Material, aus der die Röhre hergestellt wird, die sogenannten Kolben, d. s. Glaskugeln mit einem langen zylinderförmigen Halsansatz, aus einer großen Glashütte (z. B. von Gundelach in Gehlberg), die dieselben aus einer geeigneten für Roentgenstrahlen möglichst durchlässigen, auch bei längerer Durchstrahlung sich wenig schwärzenden Glasart herstellt. Die Kolben dürfen in der Wandstärke nicht zu dick sein; besonders in der mittleren Zone müssen sie besonders dünn sein, um die später dort austretenden Roentgenstrahlen möglichst wenig zu absorbieren.

Auch der Uebergang von Kugel und Hals muß richtig geformt sein, da hier der Kathodenteller eingeschmolzen wird, dessen Stellung zur

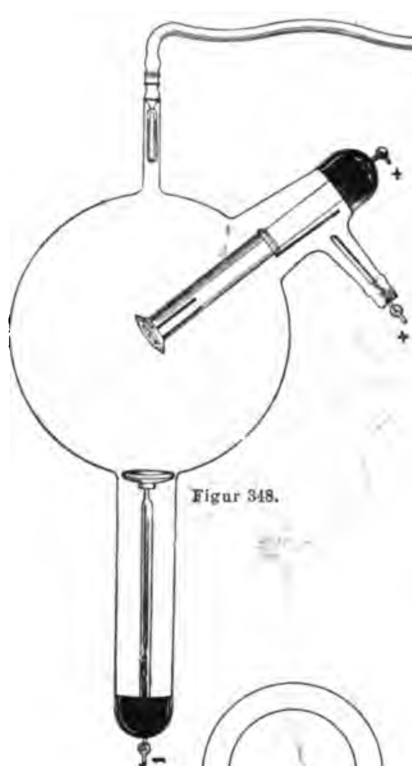
umgebenden Glaswand auf die Wirkung der fertiggestellten Röhre von größtem Einfluß ist. Vor dem Ansetzen der beiden vorher aus Glasröhren fertiggestellten Tuben zur Aufnahme der Anode und der Antikathode werden die sorgfältig ausgewählten Kolben noch gereinigt und getrocknet. Das Ansetzen der Tuben erfordert große Geschicklichkeit und Uebung des Glasbläsers, die um so schwieriger ist, je größer die Kolben sind. Die geringste ungleichmäßige Erhitzung führt zu Deformationen oder wenigstens zu Spannungen, die dann nach dem Abkühlen, ein Zerspringen der Röhre nach sich ziehen. Die vom Mechaniker hergestellte, sauber polierte, aus möglichst reinem Aluminium bestehende Anode und Kathode setzt sich in einen mit ihr vernieteten Platindraht fort; dieser wird mit Bleiglas umwickelt, welches seinerseits mit dem Röhrenglas verschmolzen wird. Die Antikathode, die meistens aus Platin besteht, muß so zentiert werden, daß sich die Kathodenstrahlen gerade auf dem Platinspiegel zum Brennfleck vereinigen, da andernfalls die Röhre unscharfe Bilder liefern würde.

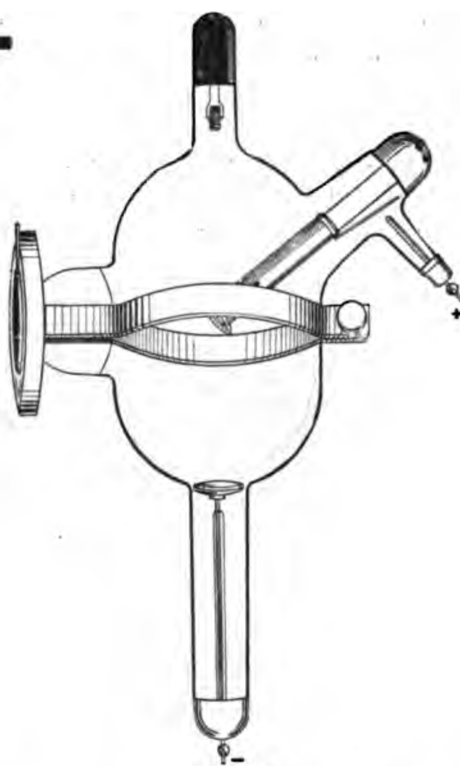
Nach dem Einschmelzen der Elektroden erhält der Kathodentubus noch zwei Ansätze, einen für die Reguliervorrichtung, den anderen für das Abschmelzrohr. Letzteres wird direkt mit der Pumpe verschmolzen.

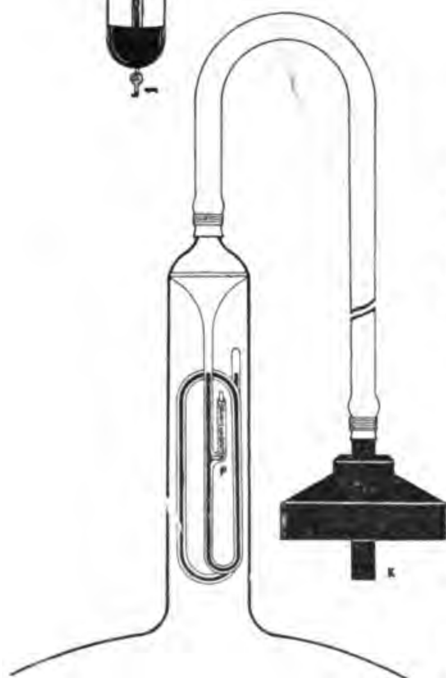
Bei größerer Fabrikation kommt eine mittels Elektromotor angetriebene Oelpumpe (z. B. solche G e r y k'scher Konstruktion) als Vorpumpe zunächst zur Anwendung, zur Erzielung des höchsten Vakuums dienen eine größere Anzahl parallel geschalteter, automatisch wirkender Quecksilberluftpumpen T o e p l e r'scher, S p r e n g e l'scher oder ähnlicher Konstruktion. Gewöhnlich werden eine größere Anzahl von Röhren gleichzeitig evakuiert. Um alle Luftpartikelchen, die an Wandungen und Elektroden haften, zu entfernen, werden die Röhren während des Auspumpens mittels eines Gasringbrenner erhitzt. Ein solcher Ringbrenner besteht aus einer ringförmig gebogenen Röhre, in der zahlreiche Bohrungen angebracht sind, durch welche das Gas ausströmen kann. Der Durchmesser des Ringes ist etwas kleiner als der der Roentgenkugel. Um auch die Metallteile der Röhre zu entgasen, wird von einem bestimmten Vakuum ab starker Strom durch die Röhren geschickt. Die Belastung wird dabei so weit getrieben, bis die Antikathode zu glühen anfängt.

Die Röhre wird dann noch einige Zeit an der Pumpe gelassen, nochmals kontrolliert, und dann abgeschmolzen.

Es sei hier auch noch darauf hingewiesen, daß nicht alle Röhren gleichmäßig ausfallen, sondern gewissermaßen jede eine eigene Individualität besitzt und daher während der Herstellung eine entsprechende Behandlung erfordert, die sich der geübte Arbeiter nur an Hand jahrelanger Erfahrungen


Figur 348.


Figur 349.


Figur 350.

zu eigen machen kann. Diese Erfahrungen sind daher das Wertvollste und Wichtigste bei der Röhrenfabrikation, wenn dieselbe rentabel sein soll.

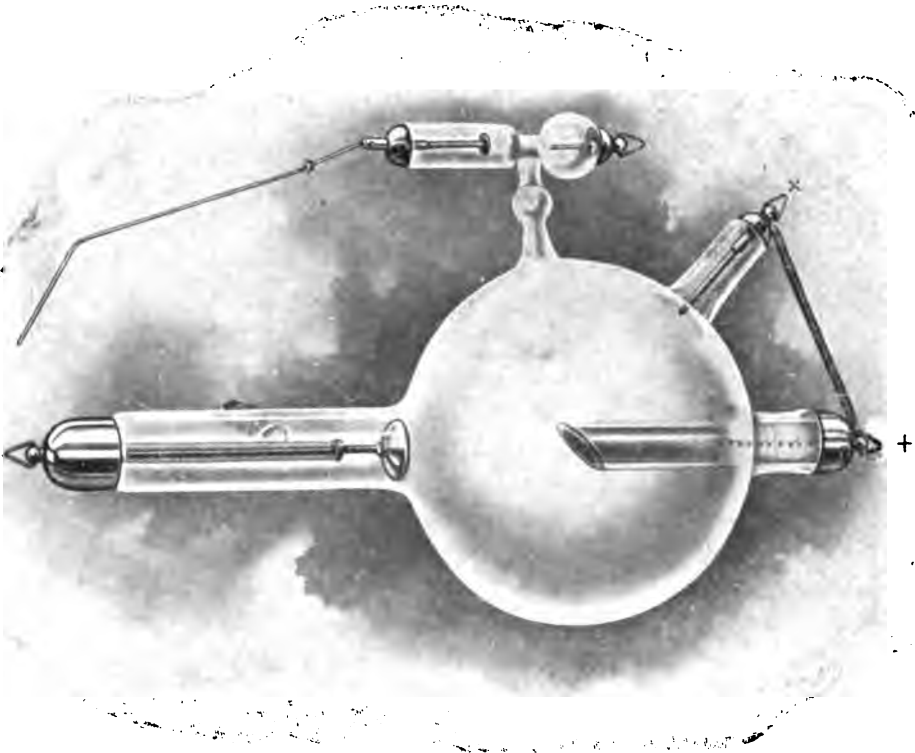
4. Uebersicht der verbreitetsten Roentgen-Röhren der Gegenwart:

Heinz Bauer, Berlin W. 35.

Von den Röhren dieser Firma seien die Delta- und Gamma-Röhre angeführt (vgl. Figuren 348 und 349).

Beide besitzen eine starke luftgekühlte Kupferantikathode; besonders charakteristisch ist die Kombination **der Antikathode mit der Anode, für**

die ein besonderer Tubus überflüssig geworden ist. Die Antikathode befindet sich unmittelbar im Anodenfall, so daß die Röhre auch im weichsten Zustande bei positivem Antikathodenpotential schließungsfrei betrieben werden kann. An Stelle des Anodentubus ist der Regeneriertubus untergebracht. Die Gammaröhre (Figur 349) ist ähnlich konstruiert, jedoch besteht dieselbe aus starkwandigem Bleiglas. Gegenüber der Antikathode ist ein besonderer Tubus aus Weichglas angebracht, der extra dünn aus-



Figur 351

geblasen ist. Durch dieses dünne Fenster gehen die Roentgenstrahlen und zwar auch die weichsten, ohne merkliche Schwächung hindurch, während die Seitenstrahlungen im Bleiglaskörper fast vollständig absorbiert werden. Unmittelbar vor dem Fenster befindet sich, durch einen schmalen Bügel direkt mit dem Röhrenkörper verbunden, eine Irisblende, die mit einem einzigen Handgriff eine dem Durchleuchtungs- resp. Bestrahlungsgebiet genau entsprechende Einstellung des Strahlenkegels ermöglicht.

Diese Röhre, die sich infolge ihrer ungewöhnlich dicken Wandungen durch große Widerstandsfähigkeit gegen elektrische und mechanische

Einwirkungen auszeichnet, stellt gewissermaßen eine Kombination von Röhre und Blende dar (Universal-Blendenröhre).

Die Bauer-Röhren sind meist mit dem schon kurz erwähnten Bauer'schen Luftventil (Figur 350) versehen.

In der Wandung eines kleinen mit Quecksilber gefüllten Röhrchens, das in einem besonderen Tubus am Kathodenhals der Röhre untergebracht ist, ist ein stecknadelkopfgroßes Plättchen porösen Materials *P*, welches für Quecksilber undurchlässig, für Luft aber durchlässig ist, eingeschmolzen. Ueber dem Quecksilberröhrchen ist eine einfache Druckvorrichtung angebracht, welche nach außen hin, im gewöhnlichen Zustand durch eine Kappe verschlossen ist. Schraubt man diese Kappe ab, so wird ein kleiner Knopf *K* sichtbar. Durch einen Druck auf diesen Knopf entsteht in dem darunter befindlichen, das poröse Stückchen enthaltenden Teil des Quecksilberröhrchens ein Ueberdruck, durch den das Quecksilber sinkt. Das poröse Stückchen wird dabei frei, so daß ein abgemessenes Quantum Luft zunächst eine Filtrierkammer passiert und so gereinigt nach dem Röhreninnern diffundieren kann. Dadurch verringert sich der Ueberdruck, die Quecksilbersäule steigt von selbst wieder und bedeckt das Stückchen, wodurch die Luftzufuhr zur Röhre unterbrochen wird. Erst ein neuer Druck läßt das Stückchen wieder frei werden. Dieses Bauer'sche Luftventil ist sowohl für Nah- als auch Fernregulierung geeignet.

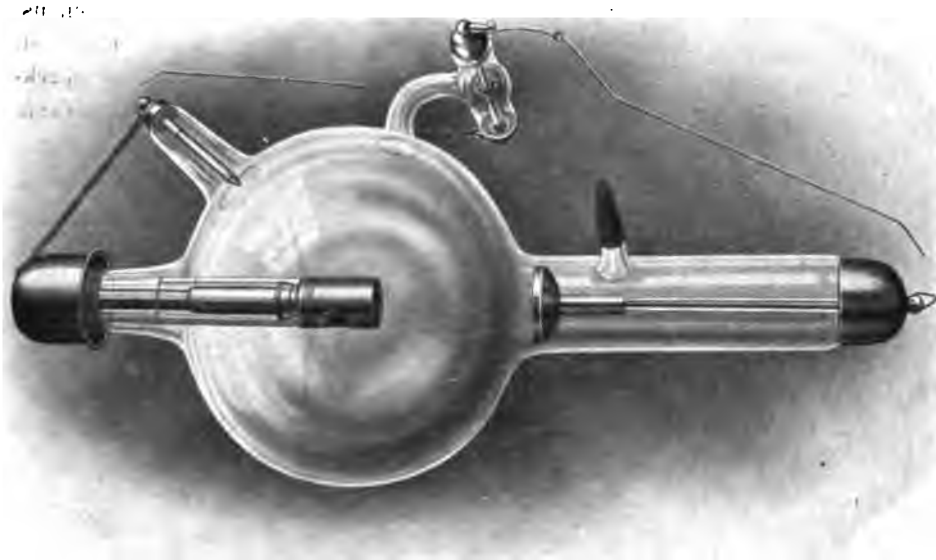
R. Burger & Co., Berlin N. 4.

Diese Firma fertigt als Spezialität Luftkühlröhren für hohe Belastung. Figur 351 zeigt die Energie-Röhre, deren Antikathode aus einer sehr schweren, Wärme gut leitenden Metallmasse besteht, die zur Vermeidung von Schließungslicht mit einem Glasmantel umgeben ist. Den Halter der Antikathode bildet ein nach außen offenes, im Innern jedoch verschlossenes Glasrohr, welches der erhitzten Luft freien Abzug gewährt. Neuerdings werden auch derartige Energie-Röhren mit Antikathodenblende speziell für den Betrieb mittels unterbrecherloser Wechselstrom-Roentgen-Apparate hergestellt. Figur 352 zeigt eine derartige Röhre mit Antikathodenblende und direkter Außenkühlung derselben durch Wärmeableitung.

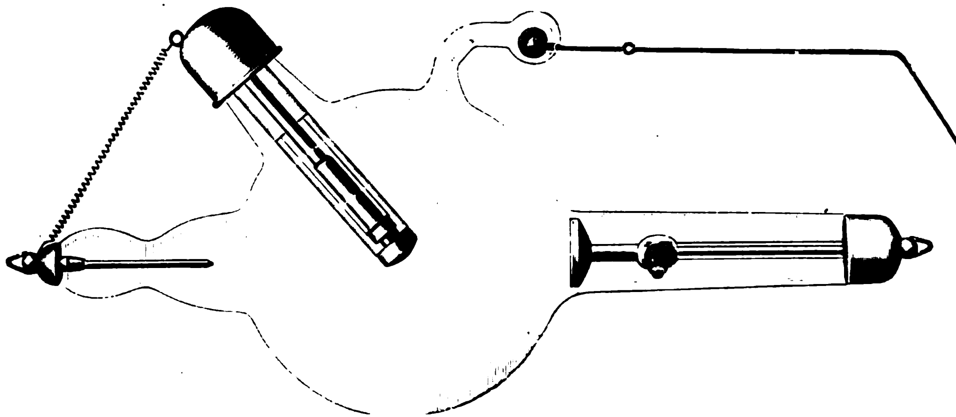
In Figur 353 ist die Zentralröhre abgebildet, die durch eine gewölbte Antikathode charakterisiert ist. Letztere gestattet einen unbeeinflußten Austritt der Zentralstrahlen, bewirkt aber eine Ablenkung der schädlichen Nebenstrahlen, so daß deren Vereinigung zu einem Brennpunkt gegenüber der Antikathode verhindert und so eine Zerstörung (Durchschmelzung) der Glaswand vermieden wird. Die Kühlvorrichtung besteht aus einer gutleitenden Metallröhre, welche durch ihre innige und unmittelbare Verbindung mit der Antikathode die Gewähr bietet, daß die durch die

Kathodenstrahlen auf der Antikathode entwickelte Wärme schnell und sicher nach der außerhalb der Röhre befindlichen Oberflächenkühlung abgeleitet wird.

Figur 354 stellt eine Momentröhre mit einer flachen Iridiumkathode

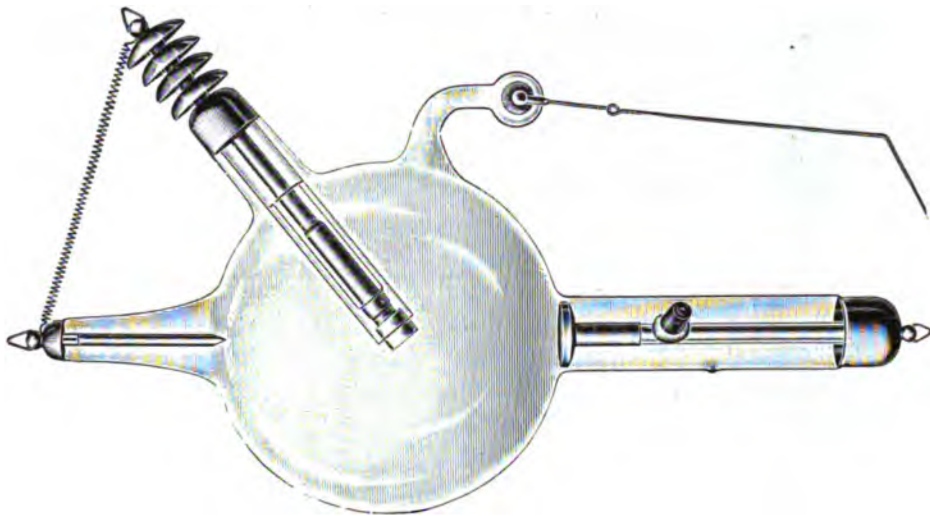


Figur 352.

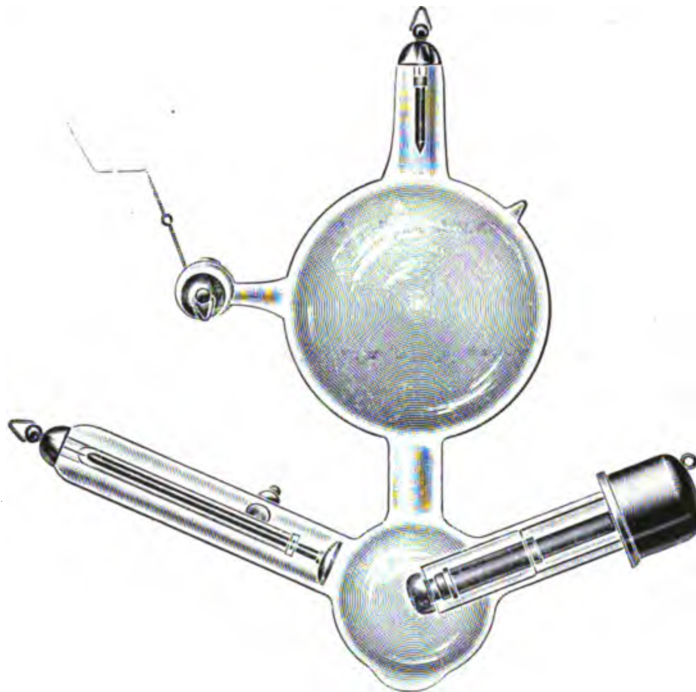


Figur 353.

dar, welche in einer absolut sicheren Weise mit einem Metallklotz und Platintopf verbunden ist, von dem eine gute wärmeleitende, metallische Verbindung nach einem als Rippenkörper ausgebildeten Außenkühler führt.

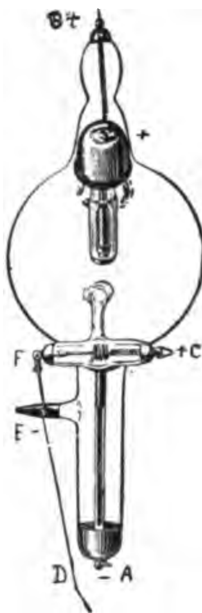


Figur 354.



Figur 355.

Endlich sei noch der Therapieröhre gedacht, die speziell für therapeutische Zwecke geschaffen ist. Die gewölbte Antikathode ist möglichst nahe an die Glaswand, der Austrittsstelle der Roentgenstrahlen



Figur 356.

herangebracht. Außerdem ist diese Stelle der Glaswand besonders dünnwandig ausgewölbt, um nach Möglichkeit viel weiche Strahlen hindurch zu lassen (Figur 355).

Die Burger-Roentgenröhren werden mit einer automatischen Vakuumregulierung (Figur 356) ausgerüstet. Dieselbe besteht aus einer seitlich an der Roentgenröhre angebrachten Nebenröhre, in deren Innern sich zwei Elektroden befinden. Die Elektrode *C* hat eine spiralförmige Gestalt und umgibt die andere Elektrode *F*. Letztere besteht aus einer Substanz, welche geeignet ist, Gas abzugeben. Soll die Regulierung automatisch erfolgen, so wird der Drahthebel *D* auf eine gewisse Entfernung vom negativen Pol *A* eingestellt. Die Entfernung richtet sich ganz nach dem gewünschten Härtegrad und beträgt gewöhnlich etwa 2 bis 6 cm. Sobald das Vakuum beim Betriebe härter wird, springen Funken vom negativen Pol *A* nach dem Drahthebel *D*. Auf diese Weise gelangt der elektrische Strom in die Substanz-Elektrode *F*, so daß eine bestimmte Menge Gas von derselben abgesondert wird und das Vakuum wieder einen weicheren Grad erreicht. Niedriges Vakuum läßt sich bei dieser Art Regulierung

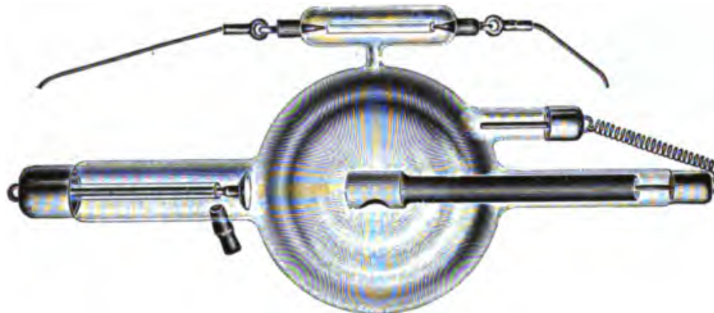

Figur 357.


Figur 358.

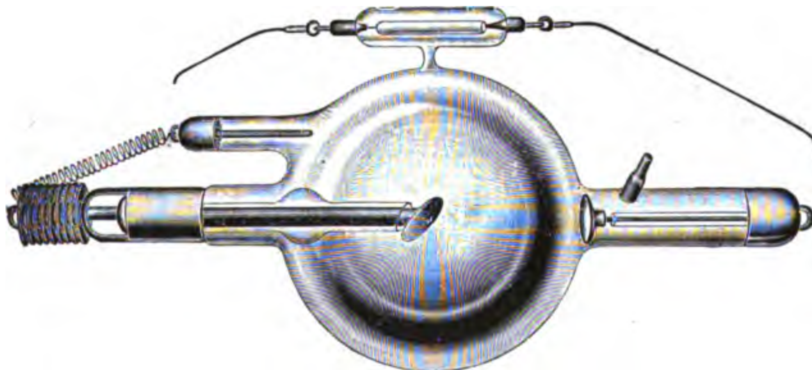
sehr schnell und leicht herstellen. Zu diesem Zwecke wird das positive Kabel von Pol + *B* nach der in der Nebenröhre befindlichen Drahtspirale + *C* umgelegt. Darauf drückt man den Drahthebel *D* mit einem isolierten Stab aus Holz, Glas oder dergleichen während des Betriebes an Pol *A*. Der Induktionsstrom passiert so die Substanz-Elektrode und weil die positive Stromzuleitung mit der Drahtspirale die Substanz-Elektrode umgibt, wird die Regulierwirkung sich viel ausgiebiger gestalten. Die Stromstärke muß dabei möglichst gering gewählt werden.

Emil Gundelach, Gehlberg.

Auch diese Firma stellt als Spezialität Luftkühlröhren her. Neben der bereits oben beschriebenen Patentröhre — Figur 357 zeigt eine solche



Figur 359.



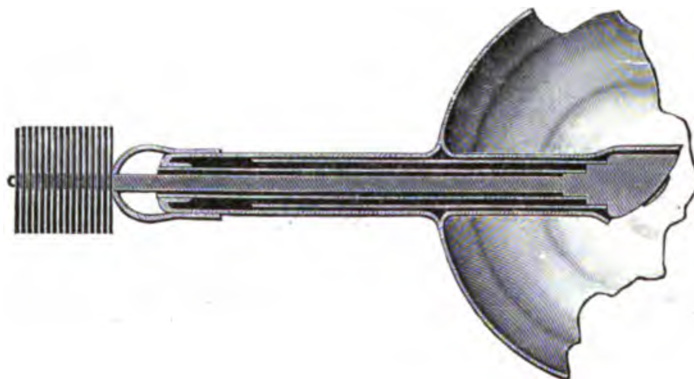
Figur 360a.

mit Osmo-, Figur 358 mit Gundelach-Regulier-Vorrichtung — ist eine ähnlich gebaute Blendenröhre zu erwähnen (vgl. Figur 359).

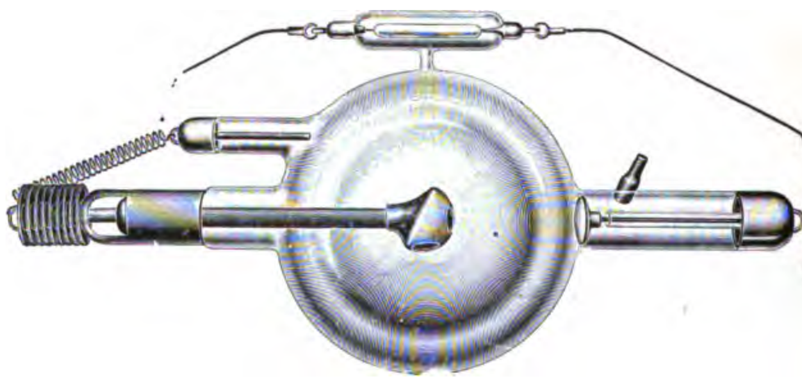
Der Antikathodenkopf derselben trägt eine Metallhülse, welche eine große seitliche Oeffnung zum Austritt der eigentlichen Roentgenstrahlen besitzt, sowie eine kleinere Oeffnung auf der Stirnseite, die dem Kathodenhohlspiegel zugekehrt ist. Es werden damit außerordentlich scharfe Bilder

erzielt. Diese Röhren eignen sich jedoch nur für Instrumentarien, bei denen keinerlei Schließungsstrom auftritt, wie z. B. für die unterbrecherlosen Wechselstrom-Apparate. Sollen sie für Induktorbetrieb angewendet werden, so ist das Vorschalten einer Ventilröhre unerläßlich.

Figur 360a u. b zeigt die Intensivstromröhre, bei der die Antikathode aus einem Kupferknopf besteht, der mit einer Kupferröhre metallisch verbunden ist, an dieser befindet sich eine Platinröhre angeschweißt, die in das Glas eingeschmolzen ist*). Der Hohlraum steht also bis zum Kupferknopf mit der



Figur 360b.



Figur 361.

atmosphärischen Luft in Verbindung. An die Rückseite des Knopfes ist ein starker Kupferstab angeschweißt, der ins Freie hinausgeführt und dort einen Rippenkörper trägt; der der atmosphärischen Luft eine große Oberfläche zur Abkühlung bietet.

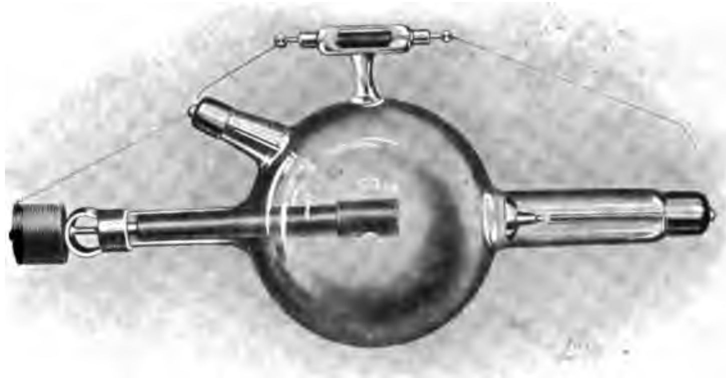
Man kann bei dieser Röhrenkonstruktion von einer direkten Luftkühlung sprechen, während die älteren Konstruktionen immer nur eine mittelbare Abkühlung am Antikathodenhals durch die äußere Luft erfahren,

*) D. R. P. Nr. 215 671.

die ja natürlich viel längere Zeit in Anspruch nimmt. Auch diese Intensivstromröhren haben einen Glaszylinder um die Antikathode. Für Instrumentarien ohne Schließungsstrom wird eine Spezialtype ohne Glaszylinder und mit Aluminiumblende auf dem Antikathodenkopf gebaut (vgl. Figur 361). In Figur 362 endlich ist die ähnlich konstruierte Wolfram-Konstant-Röhre abgebildet, deren Antikathode an Stelle von Platin eine Platte aus reinem Wolfram trägt.

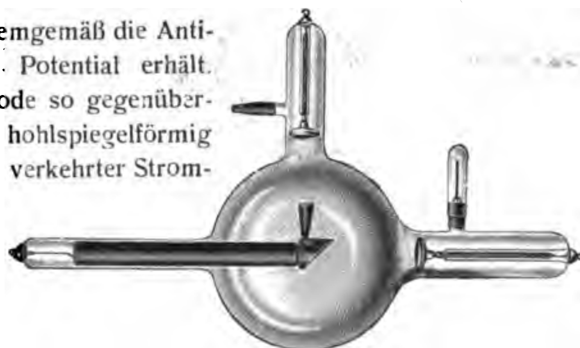
Koch & Sterzel, Dresden.

Die in Figur 363 abgebildete Bikathodenröhre ist eine Roentgenröhre mit ausgeprägtem Ventilcharakter. Der von der Antikathode ausgehende metallische Trichter ist der Anode so nahe geführt, daß er in das Anoden-

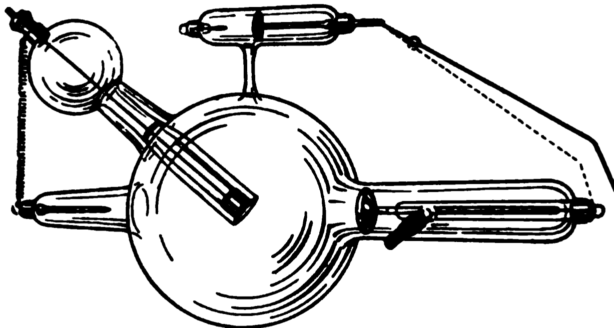


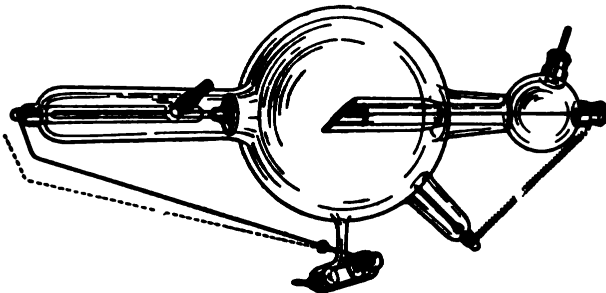
Figur 362.

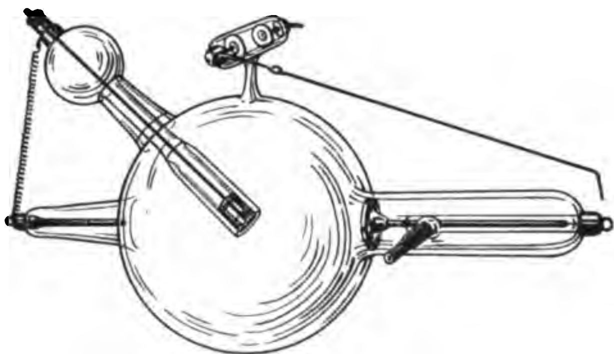
gefälle hineinragt und demgemäß die Antikathode stets positives Potential erhält. Der Trichter ist der Anode so gegenübergestellt, daß das von der hohlspiegelförmig ausgebildeten Anode bei verkehrter Stromrichtung erzeugte Kathodenstrahlenbündel in das Innere des Trichters gelangt. Durch Reflektion der Kathodenstrahlen wird in bekannter Weise das Kathodengefälle für die verkehrte Stromrichtung so erhöht, daß der verkehrt gerichtete Strom eher die Glaswand durchbohrt, als seinen Weg



Figur 363.


Figur 364.


Figur 365.


Figur 366.

durch das Innere der Roentgenröhre nimmt. Bei der Bikathodenröhre wird lediglich Kathode und Anode mit dem Induktor verbunden.

Für langandauernde Durchleuchtungen und schwierige Aufnahmen wird neuerdings auch eine Bikathodenröhre mit Wasserkühlung der Antikathode hergestellt.

C. H. F. Müller, Hamburg.

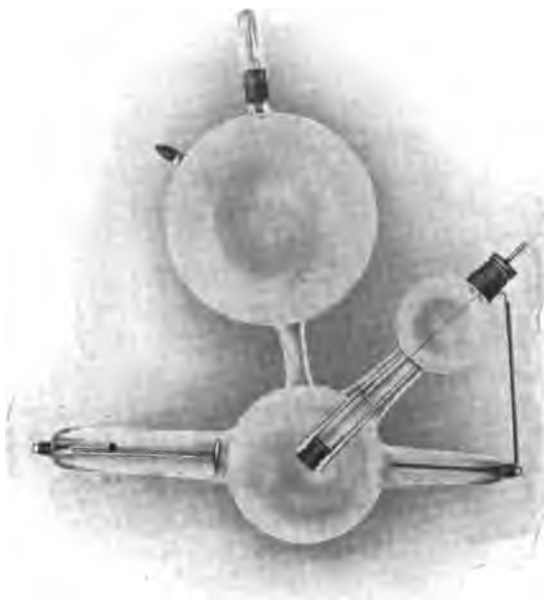
Eine Spezialität dieser Firma sind die Wasserkühlröhren. Figur 364 zeigt die neueste Ausführungsform der bereits früher beschriebenen Wasserkühlröhre. Eine Abänderung stellt die in Figur 365 abgebildete Röhre für Operations- und Untersuchungstische dar, bei denen sich die Röhre unterhalb des Objektes befindet.

Bei dem Universalrohr-Rapid (Fig. 366) ist die Antikathode dadurch für die größten Wärmemengen aufnahme- und widerstandsfähig gemacht, daß die bisherige Kühlrohr-Antikathode durch einen schweren Kupferklotz verstärkt wurde, der die Wärme sofort an das Wasser weitergibt, welches nach einiger Zeit ausgewechselt werden muß.

Für die Zwecke der Tiefentherapie und der dabei erwünschten

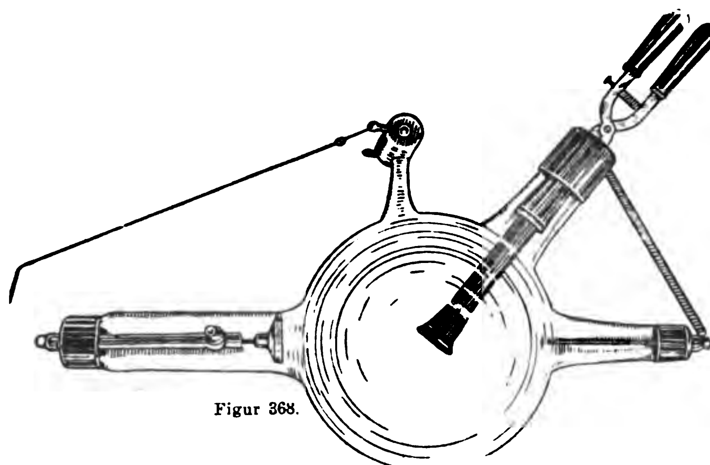
möglichst geringen Fokus-Hautdistanz hat das Rapidrohr die Modifikation erfahren, daß die Elektroden in einer kleinen Kugel untergebracht sind, die zwecks Vergrößerung des Gasinhaltes und Konstanthaltung des Vakuums mit einer großen Kugel verschmolzen ist, wie Figur 367 zeigt.

Die neueste Konstruktion ist die Zangenröhre (Figur 368), die zu den Trockenröhren gehört und bei der die Rolle des Wassers eine schwere auswechselbare Kupferzange (Figur 369) übernimmt.



Figur 367.

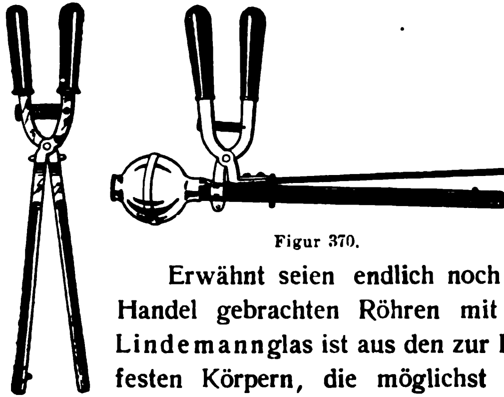
Nach gewisser Benutzungszeit wird die Zange und damit zugleich die im Rohr angesammelte Wärme aus demselben entfernt. Mittels eines breiten Platinringes ist ein bis zur Antikathode hinunter-



Figur 368.

führendes Kupferrohr mit dem Glas der Röhre verschmolzen. Das Kupferrohr trägt an seinem unteren Ende einen massiven Antikathodenklotz, in

den wiederum eine vorzüglich platinierte Platte von 24 mm Durchmesser eingelassen ist. In dieses Rohr wird nun die scherenartige Zange mit nichtleitendem Griff eingeführt; ihre beiden Schenkel, die mittels Feder auseinander gepreßt werden, passen sich den Wandungen des Kupferrohres auf das Genaueste an. Die Wärmekapazität der Metallzange kann noch gesteigert werden, wenn der in diesem Fall stärkere hohle Schenkel der Zange mit Wasser gefüllt wird, welche mit einem größeren Wasserbehälter in Verbindung steht (Wasserzange, Figur 370).

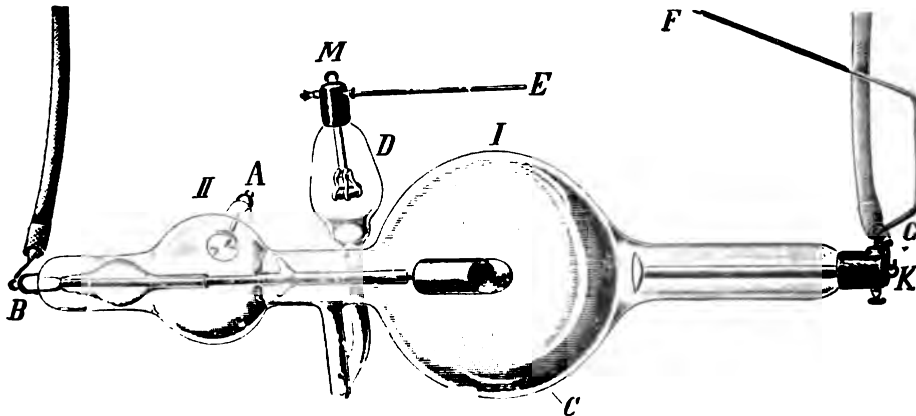


Figur 370.

Figur 369.

Die leichteren Typen der Müllerröhren werden mit der oben beschriebenen Glimmerregulierung versehen, die mittleren und schweren Typen mit einer kombinierten Kohle-Glimmerregulierung oder mit der Bauer-Luftregulierung.

Erwähnt seien endlich noch die von dieser Firma in den Handel gebrachten Röhren mit Lindemannglasfenster. Das Lindemannglas ist aus den zur Herstellung von Glas geeigneten festen Körpern, die möglichst geringes Atomgewicht haben, zusammengesetzt (Lithium, Beryllium, Bor) und besitzt daher eine bedeutend höhere Durchlässigkeit für Roentgenstrahlen als gewöhnliches Glas (das bekanntlich aus Natrium, Kalcium, Silicium besteht). Letzteres absorbiert in gleicher Dicke Strahlen mittlerer Härte ungefähr 5mal so viel als ersteres.



Figur 371.

Das aus ihm hergestellte runde Fenster hebt sich daher auf einem Fluoreszenzschirm als ganz helle Kreisfläche gegen das übrige Glas ab.

Das Lindemannglas hat den weiteren Vorteil, daß es nicht fluoresziert, also auch keine Glasstrahlen erzeugt, so daß die mit derartigen Röhren erhaltenen Bilder weit klarer und kontrastreicher ausfallen.

Polyphos Elektrizitäts-Gesellschaft, München.

Außer der schon beschriebenen Doppelkugelröhre nach Rosenthal stellt diese Firma auch eine ähnlich konstruierte Präzisions-Iridiumröhre her (vgl. Figur 371), die an Stelle des Platinblechs der Antikathode eine massive Platte aus Iridium enthält. Infolge des höheren Schmelzpunktes des Iridiums kann man intensivere Kathodenstrahlen auf eine sehr kleine Fläche konzentrieren, wodurch besonders scharfe Bilder erzielt werden.

Radiologie, G. m. b. H., Berlin.

Die Radiologie-Röhren enthalten eine bis in den Tubus reichende kompakte Kupfer-Antikathode, deren massiver Kopf zur Vergrößerung der Oberfläche und dadurch bedingter besserer Wärmeverteilung und Entgasung mit rippenförmigen Ansätzen versehen ist*). Das röhrenförmig gestaltete Ende dagegen sitzt auf einem Glasrohr, das unmittelbar durch die Außenatmosphäre gekühlt ist (vgl. Figur 372).

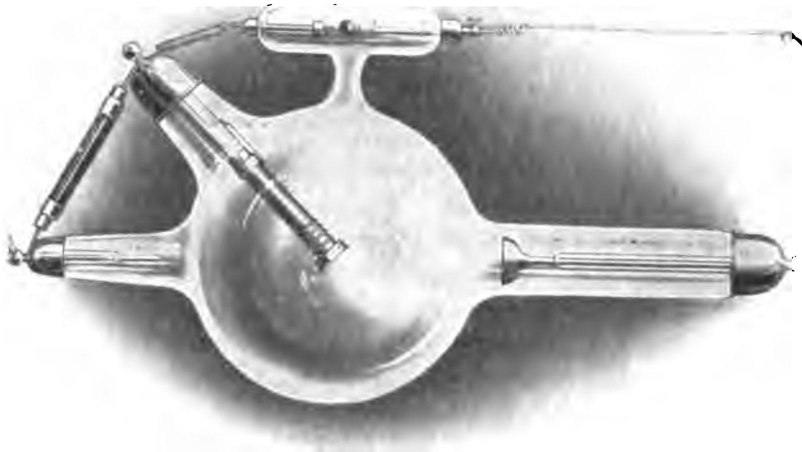
Während man bisher stets bestrebt war, den Schließungsstrom von der Röhre fernzuhalten, kommt in einer anderen Radiologie-Röhre *n* nach Dr. Fürstenau durch Einbauen einer besonders konstruierten Anode das umgekehrte Prinzip zur Anwendung, nämlich den Schließungsstrom in der Röhre zur Erzielung günstiger Wirkungen heranzuziehen**).

Wie Figur 373 erkennen läßt, besteht die Anode aus zwei Teilelektroden, von denen die eine in die Röhre, die andere in einen Nebentubus hineinragt; die Anode in letzterem ist hohlspiegelförmig ausgebildet, ihr gegenüber steht eine Miniaturantikathode, die mit der eigentlichen Röhrenantikathode verbunden ist.

Der an der Anode eintretende Schließungsstrom wird infolgedessen nicht auf die Antikathode übergeleitet, sondern setzt sich bereits an der im Nebentubus angeordneten Hilfselektrode in Kathodenstrahlen um. Der gleiche Vorgang spielt sich bei den üblichen Röhren, bei denen Antikathode und Anode direkt verbunden sind, natürlich an der Antikathode ab, wodurch das Metall der letzteren zerstäubt wird. Da jedoch die erwähnte Hilfselektrode bei der neuen Röhre aus Aluminium besteht, so kann hier der Schließungsstrom keinerlei zerstörende Wirkungen ausüben. Die erzeugten Kathodenstrahlen treffen auf die aus Platin hergestellte Miniatur-Antikathode und setzen sich in weiche Roentgenstrahlen um, die zwar die

*) D. R.-P. Nr. 167709 und D. R.-P. 173738.

**) D. R.-P. Nr. 212564.



Figur 372.

Glaswand des Nebentubus nicht durchdringen, dafür aber das in letzterem enthaltene Gas leitend machen, so daß sich die auf der Röhrenantikathode

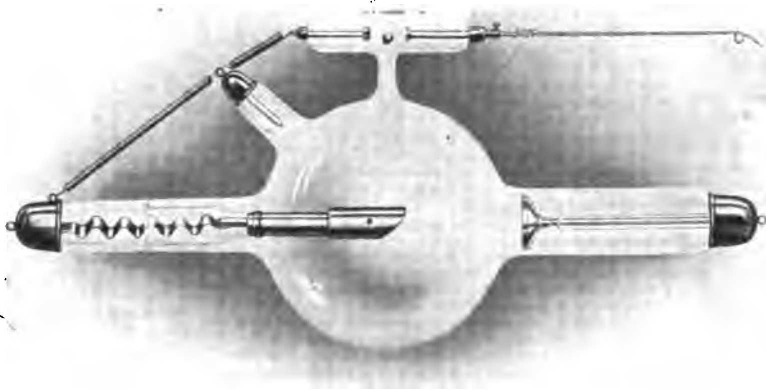


Figur 373.

ansammelnden elektrischen Ladungen ungestört durch den leitenden Gasraum hindurch nach der Anode hin ausgleichen können. Die Röhre nimmt

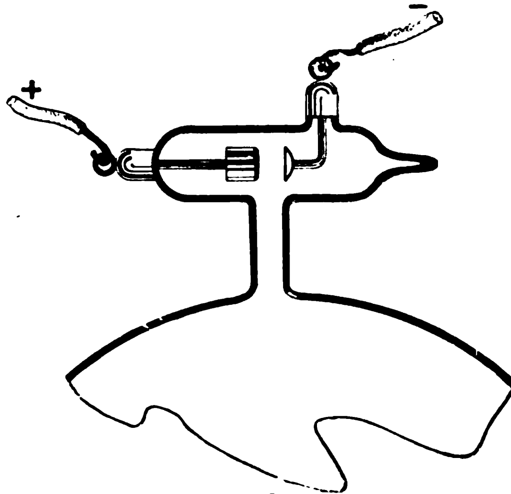
mithin den gesamten Schließungsstrom in sich auf und hält ihn trotzdem von der Antikathode fern.

Die positive Entladung dagegen tritt von der Anode selbst in die Röhre ein, ohne daß sich ihr irgend welche Hindernisse entgegenstellen.



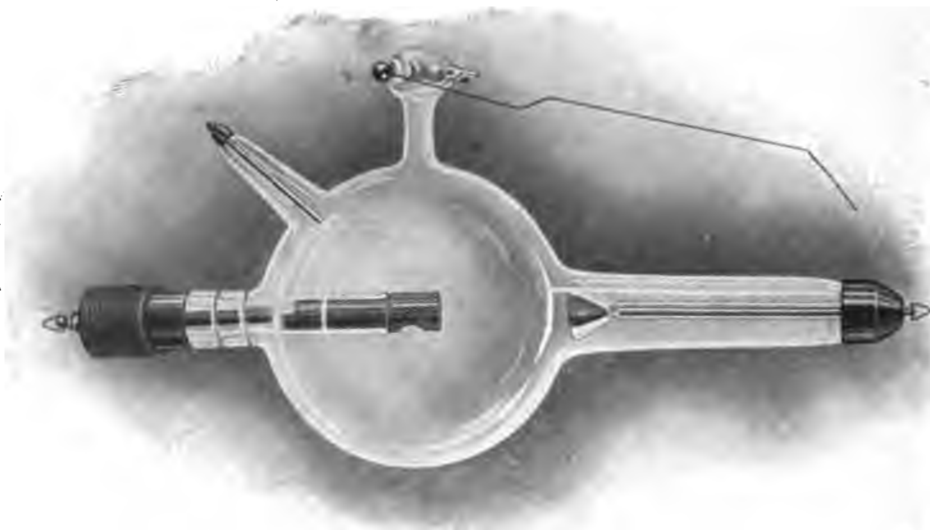
Figur 374.

Als Kriterium für die Schließungslichtfreiheit von Röhren dieser Art darf selbstverständlich die weiter unten beschriebene Glimmlicht-Kontrollröhre nicht angewendet werden. Endlich ist hier noch die Starkstromröhre mit Schmelzkammer nach Dr. Fürstenau anzuführen, die infolge der eigenartigen Konstruktion ihrer Antikathode außerordentliche Belastungen verträgt (vergl. Figur 374). Die Antikathode enthält nämlich in ihrem Innern eine „Schmelzpatrone", welche die beim Betriebe der Röhre entstehende Wärme aufnimmt und in Form von Schmelzwärme zur Absorption bringt. Die Wärmeaufnahmefähigkeit ist eine so vorzügliche, daß man die Röhre mit der stärksten Belastung während relativ langer Zeit betreiben kann, ohne daß es zu schädlicher Erwärmung kommt.



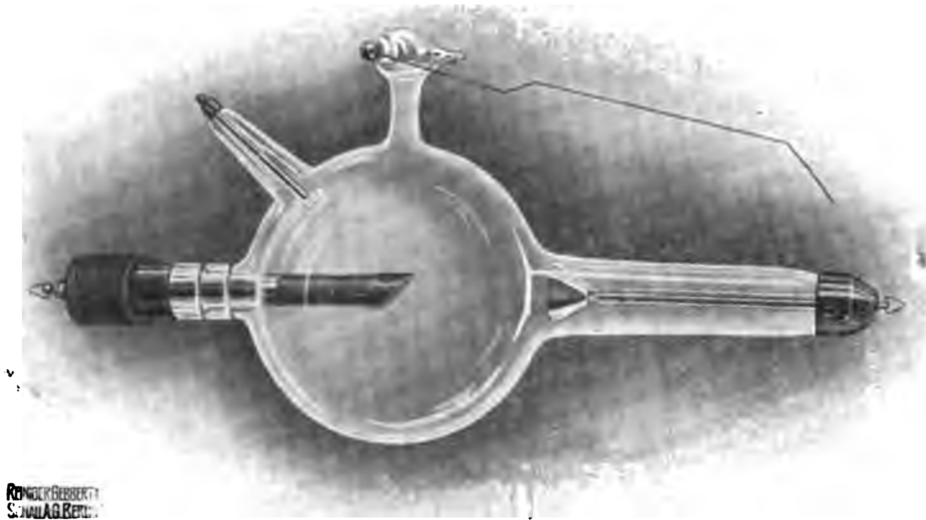
Figur 375.

Sämtliche Radiologie-Röhren sind mit der im folgenden beschriebenen Intensiv-Regeneriervorrichtung versehen. Diese in Figur 375 abgebildete Regeneriervorrichtung unterscheidet sich gegenüber anderen derartigen Vorrichtungen prinzipiell dadurch, daß sie durch doppelpoligen Anschluß betätigt wird; d. h. die beiden sekundären Zuführungskabel werden beim Regenerieren von Anode und Kathode entfernt und an die Pole der Regeneriervorrichtung gelegt. Die eigentliche Regeneriervorrichtung, die in einem Hilfstubus an der Röhrenkugel angebracht ist, besteht aus einer kleinen Kathode, die mit dem negativen Induktorpol verbunden wird, und einer dieser gegenüberstehenden, an den positiven Pol anzuschließenden zweiten Elektrode. Letztere wird aus einer in besonderer Weise präparierten Substanz gelöst, die keinerlei okkludierte Gase mehr enthält. Dadurch ist es unmöglich gemacht, daß eine Röhre von selbst, durch spontane Freigabe okkludierter Gase, weicher wird.



Figur 376.

In der Intensiv-Regenerierung wird das erforderliche Gas an der mit dem positiven Induktorpol verbundenen Elektrode entwickelt, und zwar durch das Aufprallen der an der kleinen Kathode erzeugten Kathodenstrahlen. Diese treffen auf die zweite Elektrode und entwickeln aus der Substanz eine gewisse Quantität Gas. Da diese chemische Umwandlung so lange hervorgerufen werden kann, als die Regeneriervorrichtung Teile der Substanz enthält, und bei jeder Regeneration nur Bruchteile eines

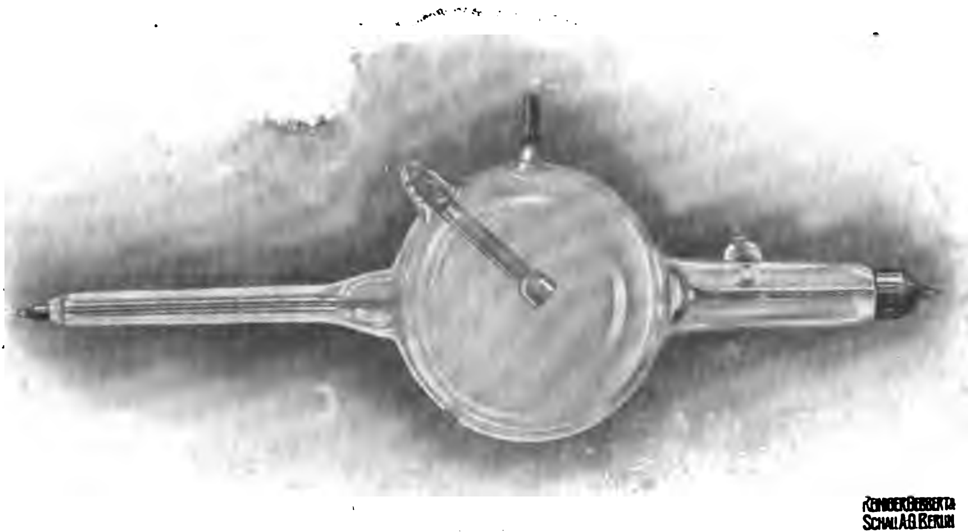


Figur 377

Milligramms derselben verbraucht werden, so ist die Intensiv-Regenerierung praktisch fast unerschöpflich.

Reiniger, Gebbert & Schall A.-G., Erlangen.

In neuester Zeit hat auch diese Firma die Fabrikation von Roentgen-Röhren aufgenommen. Figur 376 zeigt die Direkt-Kühl-Röhre dieser



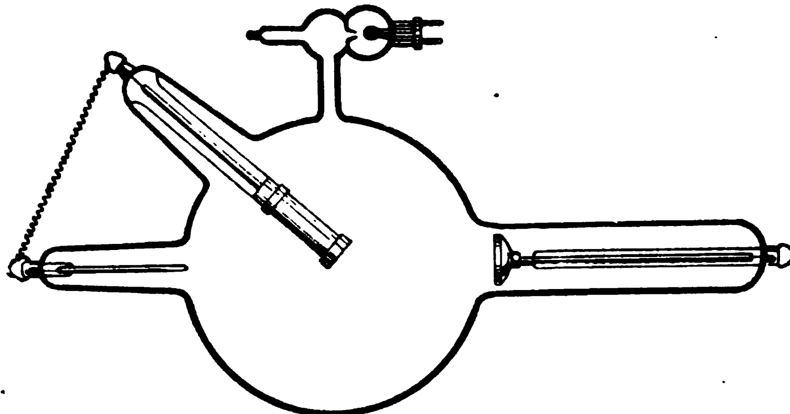
Figur 378.

Firma für Induktor-, Figur 377 die ähnliche Röhre für Ideal-Intensivbetrieb. In Figur 378 ist eine speziell für Einschlag-Aufnahmen konstruierte Röhre abgebildet. Bei Röhren für therapeutische Zwecke wird auf der Kugel sowohl Glasdicke an der Durchtrittsstelle des Normalstrahles, als auch die Fokus-Glaswandentfernung auf einem eingeätzten Ringe angegeben, der die Durchtrittsstelle des Normalstrahles zum Mittelpunkt hat.

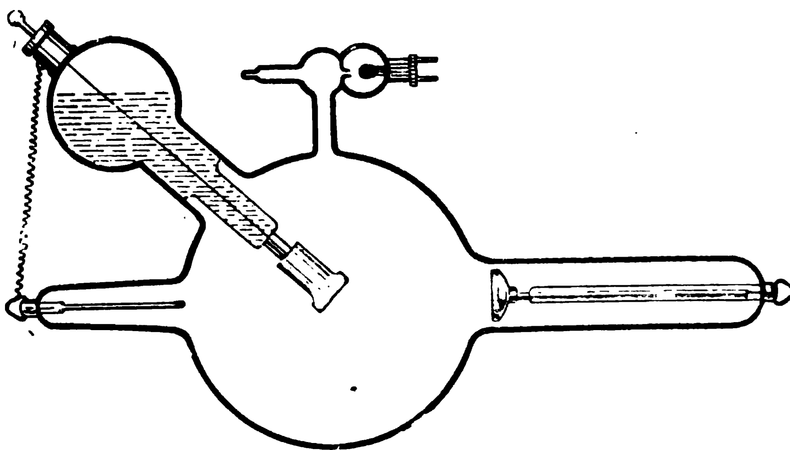
Die Röhren werden mit sogenannter Strahlkörper-Regenerierung versehen, welche selbst bei härterem Zustande der Röhren leicht anspricht, das Gas nur allmählich und stetig austreten läßt und einen großen Vorrat an Gasen enthält.

Rodde-Röntgenröhren-Fabrik, G. m. b. H., Berlin N.

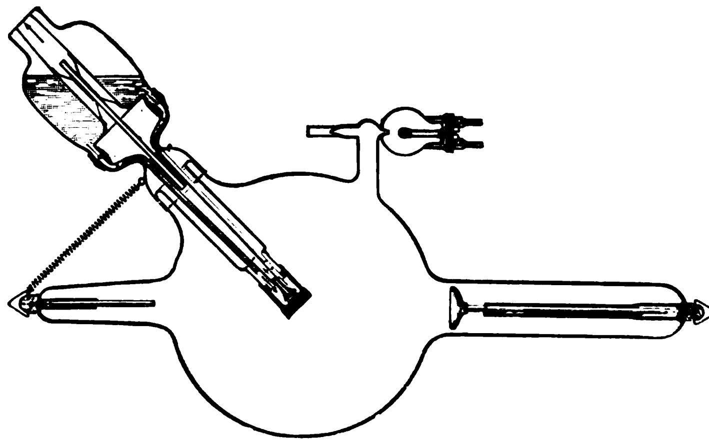
Die Firma fabriziert neben der in Figur 379 dargestellten Starkstromröhre, bei der das Platin der Antikathode auf einen Eisenklotz aufgeschweißt



Figur 379.



Figur 380.



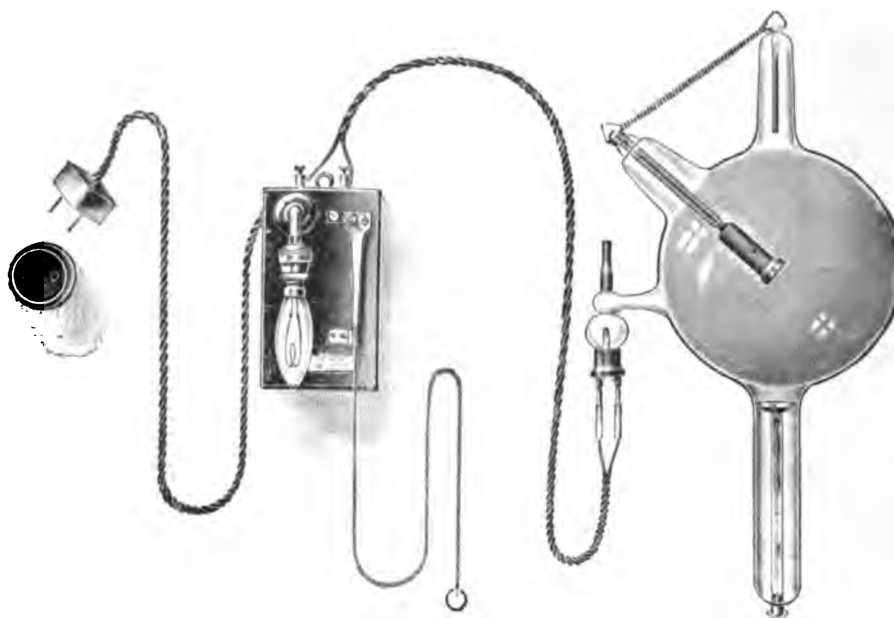
Figur 381.



Figur 382.

ist, die in Figur 380 abgebildete Kühlröhre, deren sehr starke Antikathode den Boden eines ausgebohrten massiven Rohres von elektrolytischem Kupfer bildet. Für hohe Beanspruchungen ist die Intensiv-Kühl-Röhre (Figur 381) bestimmt, die durch eine zwangsläufige Kühlwasserführung charakterisiert ist. Die schornsteinförmige Durchbrechung des oberen Kühlmittelbehälters begünstigt infolge der entstehenden Luftströmung die Wärmeabgabe an der Wasseroberfläche. Der Kühlmittelbehälter, der in Glas- oder in Metallausführung geliefert wird, ist leicht abnehmbar, so daß die Röhre auch an ein isoliertes Wasserreservoir angeschlossen werden und so das Antikathodengefäß durch Druckwasser gekühlt werden kann.

Alle Röhren sind mit der Ideal-Regenerier-Vorrichtung (vgl. Figur 382) versehen, welche die Regulierung mittels einer getrennten Stromquelle (Trockenbatterie) oder Leitungsnetz herbeiführt, so daß dieselbe durch



Figur 383.

Betätigung eines Druckknopfes vorgenommen werden kann. Figur 383 zeigt die diesbezügliche Anordnung für Fernregulierung unter Benutzung von Starkstrom.

5. Allgemeine Leitsätze für die Behandlung und den Betrieb von Roentgenröhren.

(Nach Reiniger, Gebbert & Schall A.-G., Erlangen.)

1. Man merke sich, daß bei schwacher Belastung die Röhre zum Hartwerden neigt, bei starker Belastung dagegen erst langsamer und dann sehr schnell weich wird.

Das Weichwerden der Röhre tritt um so eher und bei um so geringerer Belastung ein, je jünger eine Roentgenröhre ist. Für jede Roentgenröhre und für jeden Zustand des einzelnen Exemplares gibt es eine günstigste Belastung, bei welcher die Röhre ihre Konstanz am längsten beibehält. Da es bei den zahlreichen in Betracht kommenden Faktoren unmöglich ist, die günstigste Belastung zahlenmäßig anzugeben, so ist nur auf dem Wege des vorsichtigen Versuches das nötige Gefühl bezw. Abschätzungsvermögen dafür zu erlernen. Ohne jedes Opfer geht dies selten ab, man rechne also von vornherein damit.

2. Neue, d. h. Roentgenröhren in ihrem jugendlichen Stadium, verwende man niemals für langandauernde oder starke Belastung, sondern

ältere sie erst mit kurzen und schwachen Belastungen, bis man im Laufe von Wochen allmählich steigend die Maximalleistung der Röhre zumutet.

3. Man hüte sich, eine neuere Röhre für gealtert zu halten, weil sie eine mittelweiche oder härtere Strahlung aufweist. Auch ganz neue Röhren können hart sein. Solche Röhren werden am zweckmäßigsten durch Regenerieren weich gemacht und dann langsam zur vollen Leistungsfähigkeit trainiert.

4. Man sei sich bei dem Gebrauch von Roentgenröhren stets bewußt, daß die Röhre als physikalischer Apparat unumstößlichen Naturgesetzen unterliegt und aus diesem Grunde die mit der Roentgenröhre zu verrichtenden Arbeiten sich nach der Roentgenröhre und ihrem Zustand richten müssen. Man darf daher die Röhre niemals zwingen, irgend eine Arbeit zu leisten, die zufälliger Weise vorliegt, und welcher sie ihrem Zustande nach nicht gewachsen sein kann.

5. Jede Mißhandlung der Röhre (Ueberlastung durch hohe Stromstärke, zu lange Einschaltung oder beides, Verkehrtschaltung etc.) rächt sich bitter durch Defekt oder gar Unbrauchbarwerden der teuren Röhre.

6. Roentgenröhren, die nicht leicht ansprechen, befinden sich entweder im jugendlichen Stadium oder sie sind vorher einmal mißhandelt worden (verkehrt eingeschaltet, zu stark belastet und dergl.). Solche Röhren zwinge man niemals mit Gewalt durch immer höher und höher gewählte Belastungen zum Ansprechen, weil man dabei die Gefahr läuft, daß die Röhre durch Ueberschlagen von Funken sofort zerstört wird. Es kommt auch vor, daß die Roentgenröhren, hauptsächlich im Winter, sehr kühl gelagert haben und dadurch vorübergehend sehr hart geworden sind und jede Stromaufnahme verweigern. Nachdem sie aber einmal angesprochen haben und nur geringe Wärme in ihrem Innern sich entwickelt hat, erhalten sie ihren ursprünglichen Zustand wieder.

Kann man vermuten, daß dieser letzte Grund vorliegt, so ist die Röhre unbedingt vorher gehörig anzuwärmen, indem man sie in die Nähe des warmen Ofens bringt oder auf die Dampfheizung legt, natürlich unter Zwischenlage von Karton oder dergl., so daß örtlich begrenzte Erhitzungen der Glaswand nicht eintreten können, sonst entstehen Glasspannungen, welche sogar zum Zerspringen der Röhre führen können. Man berücksichtige hierbei, daß das Vakuum Wärme nicht leitet und daß dieselbe daher sehr langsam durch Strahlung übertragen werden muß. Eine solche Erwärmung muß deshalb manchmal stundenlang erfolgen, bis sie die gewünschte Wirkung herbeigeführt hat. Aus dem gleichen Grunde ist es auch möglich, daß die Röhre im Innern zu kalt ist, wenn sie auch schon längere Zeit in einem warmen Zimmer gelegen hat. Nur wenn man sich überzeugt hat,

daß der „natürliche“ Zustand der Röhre eine außergewöhnliche Härte aufweist, soll man zur Regenerierung schreiten, die man bei schwächster Belastung anfangend sehr sorgfältig und vorsichtig vornehmen muß. Nach der Regenerierung warte man wenige Minuten, weil meist die Röhre nach dem Regenerieren sich noch etwas ändert und zwar je nach dem in der Röhre herrschenden Zustande nach weich oder nach hart hin, sonst täuscht man sich in der Beurteilung der Härte.

7. Man vermeide alles, was zu einem außen um die Röhre herumschlagenden Funken, der an der Glaswand entlang gleitet, Veranlassung geben könnte. Solche Gleitfunken, die in vielen hundert Fällen unschädlich bleiben, durchbohren doch in einem günstigen Falle die Glaswand und machen dann die Röhre wertlos. Man verhütet derartige Gleitfunken dadurch, daß man erstens das Aeußere der Röhre absolut sauber hält, sie möglichst wenig mit den Fingern anfaßt, weil die Schweißrückstände usw. eine leitende Schicht auf der Oberfläche des Glases bilden. Weiterhin muß man die der Regenerierung zugehörigen Drahtbügel stets so angeordnet lassen, daß, wenn Funkenüberschläge eintreten, nicht die Glaswand von den Funken benutzt werden kann, sondern der nähere Weg, welcher z. B. vom Regenerierdraht zur Kathode, zur Hilfsanode oder zur Anode bezw. deren Metallkappen führt.

8. Man vermeide es, häufig mit den Typen und Fabrikaten der Roentgenröhren zu wechseln, oder vielerlei Typen zu gleicher Zeit in Benutzung zu haben. Jede einzelne Type besitzt ihre Betriebseigenarten und erfordert ihre besondere Behandlung. Sobald man nun viele Typen besitzt, findet man nicht immer die spezifischen Eigenarten der einzelnen heraus und man behandelt daher meist die Röhren alle miteinander falsch.

9. Man sorge dafür, daß man eine genügende Anzahl (4, 6 oder mehr) von Roentgenröhren zur Verfügung hat und daß die Roentgenröhren für spezielle Verwendungszwecke streng getrennt verwendet werden. So darf man z. B. eine Roentgenröhre, die man stets zu Durchleuchtungen verwendet, nicht plötzlich oder zwischen hindurch zu Aufnahmen benutzen. Dadurch gehen die guten Eigenschaften der Roentgenröhre, die sich durch den Gebrauch für die Anforderungen bei Durchleuchtungen eingestellt hatten, verloren. Richtig behandelte Roentgenröhren, die man nur für einen und denselben Zweck verwendet, sind außerordentlich dankbar, haben eine sehr lange Lebensdauer und sind stets verläßlich.

10. Man denke stets daran, daß die Wärmeerzeugung auf Antikathode eine ganz außergewöhnlich große ist, die ähnliche Werte besitzt, wie die des Lichtbogens der elektrischen Bogenlampe. Da das Vakuum der

Roentgenröhre die Wärme nicht direkt leitet, so muß man der Röhre Zeit lassen, daß die innen erzeugte Wärme langsam durch Strahlung und Weiterleitung in den Metall- und Glasteilen nach außen herausgeführt wird. Bei manchen Roentgenröhren-Typen dauert dieser Wärmeaustausch nach einer einmaligen Momentbelastung unter Umständen stundenlang.

11. Man gewöhne sich daran, vor jeder Benutzung der Roentgenröhre dieselbe probeweise einzuschalten, ihre Härte mit einem geeigneten Instrument festzustellen und die Belastung nach dem Milliampèremeter und dem Stande der Regulierkurbel derart zu bemessen, wie man glaubt die Röhre für den beabsichtigten Zweck am besten konstant halten zu können. Mit der Zeit bekommt man dann eine derartige Uebung im Abschätzen der Härte und des Zustandes der Röhren nach der sekundären Stromstärke im Verhältnis zu dem Stand der Regulierkurbel, daß man die geringsten Veränderungen des Röhrenzustandes daran zu erkennen vermag.

12. Nimmt bei längerer Einschaltung die Stromstärke nach den Angaben des Milliampèremeters zu, so ist dies ein sicheres Zeichen dafür, daß die Röhre weicher wird. Es ist sofort dafür Sorge zu tragen, daß die Belastung der Röhre verringert wird, sonst wird die Röhre so weich daß sie unbrauchbar wird. Nimmt dagegen die Stromstärke ab, so ist die Belastung der Roentgenröhre zu gering gewählt. Diese letztere Erscheinung tritt aber nur sehr langsam auf und ist weniger schädlich als das Weicherwerden der Roentgenröhre. Wenn eine Roentgenröhre weicher wird, so liegt dies also nicht etwa am Apparat oder seiner Eigenart, sondern lediglich an der unzweckmäßigen Belastung der Roentgenröhre oder an ihrem jugendlichen Stadium.

13. Man schalte die Röhre nur so lange ein, als notgedrungen für den beabsichtigten Zweck erforderlich ist. Deshalb bereite man, ehe man einschaltet, alles auf das Sorgfältigste vor, damit auf keinen Fall die Röhre unnützerweise angestrengt wird. Man bedenke, daß bei Belastungen von 25 Milliampère und mehr eine einzige Sekunde bereits eine sehr große Rolle spielt und bei einer jugendlichen Röhre zu deren völligem Ruin genügen kann.

6. Ueber die Wahl der Roentgenröhren und des Induktors.

Zunächst ist es, worauf schon im vorigen Abschnitt unter 9 ausführlicher hingewiesen wurde, durchaus notwendig, über mehrere Roentgenröhren verschiedener Härte zu verfügen, und die für den jeweiligen Zweck passende auszuwählen. Durch längeren, fortgesetzten Gebrauch wird schließlich jede Roentgenröhre unbrauchbar. Man kann sie zwar von neuem auspumpen lassen, aber meist lohnt dies nicht, weil sich an der Innenseite

ein Niederschlag von zerstäubtem Elektrodenmaterials angesetzt hat, der die Strahlen zu sehr absorbiert. Die zu wählende Form und Größe einer Röhre richtet sich im allgemeinen nach der Art und Größe des Instrumentariums.

Folgende Tabelle gibt eine Uebersicht über die für den Fall des normalen Induktorbetriebs zu wählende Größe der Röhre.

Kugeldurchmesser der Röhre	5,5	7,5	8,5	11	15	17	20	25 cm,
Funkenlänge des Induktors	3	10	20	30	50	60	70	100 cm.

Es empfiehlt sich aber stets eine größere als kleinere Röhre zu verwenden. Für normalen Induktorenbetrieb eignen sich die meisten der heute auf den Markt gebrachten Röhrentypen; den stärksten Belastungen z. B. bei Fern-Momentaufnahmen beziehungsweise unterbrecherlosem Wechselstrombetrieb sind jedoch nur wenige Spezialmodelle gewachsen (insbesondere die Burger'sche Energieröhre, die Fürstenau'sche Starkstromröhre und die Gundelach'sche Intensivstromröhre.)

Was die speziell für den Betrieb von Roentgenröhren dienenden Induktoren anbetrifft, so werden in den meisten Fällen solche von 20 bis 60 cm Funkenlänge angewendet. Roentgenspezialisten, Kliniken, große Krankenhäuser usw. benutzen Apparate von 40 bis 75 cm Schlagweite, oder die in einem späteren Abschnitt beschriebenen unterbrecherlosen Wechselstrom-Anordnungen.

Induktoren mit größerer Schlagweite als 50 cm Funkenlänge sind im allgemeinen unnötig, da sie nicht voll ausgenutzt werden können. Ihr Vorteil würde höchstens auf den mit ihrer Hilfe erzielbaren intensiveren Einzelentladungen und der so erreichbaren längeren Gebrauchsdauer der immer härter werdenden Röhren beruhen. Außerdem ist, worauf wir im ersten Teil ausführlich eingegangen sind, weniger die Schlagweite, sondern hauptsächlich die sekundäre Leistung des Induktors maßgebend bei den hohen Anforderungen, die an eine moderne Roentgeneinrichtung gestellt werden. Es gelangen daher fast ausschließlich Spezialinduktoren für hohe Sekundärstromstärken (dicker Kern!) zur Anwendung. Andererseits darf man aber auch mit der sekundären Spannung (Schlagweite) nicht unter ein gewisses Maß heruntergehen, weil sonst der Induktor zum Betrieb harter Röhren nicht mehr ausreicht.

Endlich ist auch die Regulierfähigkeit kleiner Apparate eine viel geringere als diejenige größerer Induktoren. Da man bei letzteren viel feinere Abstufungen des Speisestromes für die Röhre erzielen kann, so werden die Röhren außerordentlich geschont, während bei kleineren Induktoren die Röhren auf Kosten ihrer Lebensdauer außerordentlich beansprucht werden.

Man kann sich die Verhältnisse durch einen Vergleich klar machen.

Nehmen wir an, wir sollten abwechselnd mehrere Glühlampen verschiedener Spannung und Kerzenstärke mittels eines Wechselstromtransformators speisen. Es ist klar, daß der Transformator einerseits so dimensioniert sein muß, daß er eine der Wattzahl der stärksten Glühlampe entsprechende sekundäre Leistung besitzt, andererseits eine Sekundärspannung liefert, die sich innerhalb der Grenzen der Lampenspannungen regulieren läßt. Ist dies nicht der Fall, so ist ein ökonomischer Betrieb der Lampen unmöglich. Man kann zwar auch, wenn es sich nur um kurz andauernde Belastungen handelt, mit einem kleineren Transformator, den man überlastet, auskommen und durch Brennen einer Lampe geringerer Kerzenzahl unter Ueberspannung dieselbe Kerzenstärke erzielen, als wenn man eine Lampe höherer Wattzahl unter normalen Verhältnissen brennen lassen würde; aber den in der Technik sonst gestellten allgemein üblichen Grundsätzen, wo man sogar mit einem gewissen Sicherheitskoeffizienten rechnet, entspricht dies Verfahren sicherlich nicht.

Genau so liegen die Verhältnisse bei dem zum Betriebe verschiedenartiger Roentgenröhren verwendeten Induktor.

Als Unterbrecher kommen hauptsächlich wegen der Ruhe des Schirmbildes und der kürzeren Expositionsdauer die Quecksilber-Strahl-, Ring- und die Flüssigkeits-Unterbrecher in Betracht.

Die Quecksilberstrahl- beziehungsweise Ring-Unterbrecher besitzen eine gute Regulierfähigkeit in bezug auf Funkenlänge, Unterbrechungszahl und Stromschlußdauer, unabhängig voneinander und von der sekundären Belastung durch die Roentgenröhre.

Bei Anwendung des Wehnelt-Unterbrechers empfiehlt sich die Anschaffung eines solchen mit mehreren Stiften und einer Primärspule mit veränderlicher Selbstinduktion (vergl. S. 140 bis 142).

Die Benutzung eines Loch-Unterbrechers ist bei allen Spannungen zulässig und gestaltet sich damit auch die ganze Einrichtung verhältnismäßig einfach. Man kann mit einer einzigen Lochgröße und nur einer Primärwicklung eine genügende Regulierung durch bloße Benutzung eines Regulierwiderstandes erreichen (vergl. S. 146).

Wird der Induktor direkt von einem Netze mit 110 bis 220 Volt betrieben, so macht sich, besonders im Falle des Betriebes mittels eines Flüssigkeit-Unterbrechers der Schließungsstrom recht unangenehm bemerkbar, besonders bei weichen Röhren, die, wie wir gesehen haben, sonst recht vorteilhaft sind (wenn wir hier von der oben beschriebenen Koch & Sterzel'schen Bikathodenröhre und der Fürstenau'schen Radiologieröhre absehen). Der durch den Stromschluß induzierte Sekundärstrom ist natürlich dem Oeffnungsstrome entgegengesetzt gerichtet und wirkt auf

die Lebensdauer der Röhre genau so schädlich wie eine falsche Stromrichtung. Man erkennt das Auftreten der Schließungsströme bei einer Roentgenröhre schon äußerlich leicht daran, daß das grüne Fluoreszenzlicht der Röhre keine scharfe Teilung aufweist (vgl. S. 238), sondern mit Schattenfiguren (fluoreszierenden Ringen) durchsetzt ist.

7. Glimmlicht-Kontrollröhre.

In viel besserer Weise jedoch als an dem Aussehen der Röhre läßt sich das Vorhandensein verkehrt gerichteten Stromes mittels der vom Verfasser in die Roentgentechnik eingeführten Glimmlichtröhre erkennen, die dieselbe Ausführung wie die früher beschriebene Glimmlicht-oszilloskopen-Röhre haben kann (vgl. S. 172).

Schaltet man nämlich eine solche Röhre mit der Roentgenröhre in Serie, so überzieht sich, wenn die letztere nur von Oeffnungsströmen durchflossen wird, nur eine Drahtelektrode mit bläulichem Glimmlicht, während die andere vollständig frei davon bleibt. Sind auch Schließungsströme vorhanden, so tritt das Glimmlicht auch an der anderen Elektrode auf und überzieht dieselbe in um so größere Länge je stärker der Strom verkehrter Richtung ist. Aus der Länge jener Glimmlichthülle, die dem maximalen Momentanwert der Schließungsstromstärke entspricht, kann man daher bis zu einem gewissen Grade auf die Stärke dieses schädlichen Stromes schließen. Derartige Glimmlicht-Kontroll-Röhren werden von Emil Gundelach in Gehlberg in den Handel gebracht. Eine etwas modifizierte Form der Glimmlicht-Kontrollröhre wird von Burger u. Co., Berlin, in den Handel gebracht.*) Diese Röhre besitzt nur eine drahtförmige Elektrode, während die andere Elektrode von einer Platte gebildet wird.

Diese Röhre muß mit der Roentgenröhre und dem Funkeninduktor so geschaltet werden, daß die drahtförmige Elektrode direkt (oder durch die Roentgenröhre) mit dem positiven Pol der sekundären Spule, die Plattenelektrode durch die Roentgenröhre (oder direkt) mit dem negativen Pol in Verbindung steht. Bei normalem Stromdurchgang durch die Roentgenröhre tritt dann an der Drahtelektrode kein Glimmlicht auf; ist dies aber der Fall, so sind Schließungsströme des Schließungslichts vorhanden.

Die Glimmlicht-Kontrollröhre ist ein so wichtiges Hilfsmittel zur Anzeige verkehrt gerichteter Ströme geworden, daß sie heutzutage in jedem Roentgenlaboratorium vorzufinden ist.

Es genügt übrigens auch, die Röhre vor Beginn der eigentlichen Expositionen in den Stromkreis der Roentgenröhre einzuschalten, und sie

---

*) D. R.-G.-M. 365 741.

während derselben kurz zu schließen, um sich davon zu überzeugen, ob Schließungslicht auftritt oder nicht. Einen Halter für Glimmlicht-Kontroll-Röhren mit derartiger Kurzschlußvorrichtung liefert Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., Erlangen. Lassen sich die Betriebsverhältnisse z. B. bei Anwendung eines mit Wechselstrom betriebenen Wehnelt-Unterbrechers nicht so einrichten, daß keine Ströme verkehrter Richtung auftreten, so muß man eine der im folgenden beschriebenen Vorrichtungen zur Unterdrückung der Schließungsinduktionsströme anwenden.

Fünfzehntes Kapitel.

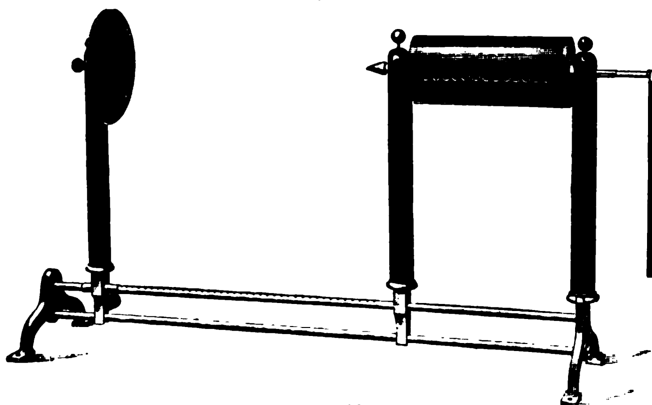
Vorrichtungen zur Unterdrückung der Schließungsinduktionsströme.

a) Funkenstrecke.

Am einfachsten werden die Schließungsfunken dadurch von der Röhre ferngehalten, daß man ihr eine Funkenstrecke vorschaltet, die von dem stärkeren



Figur 384.

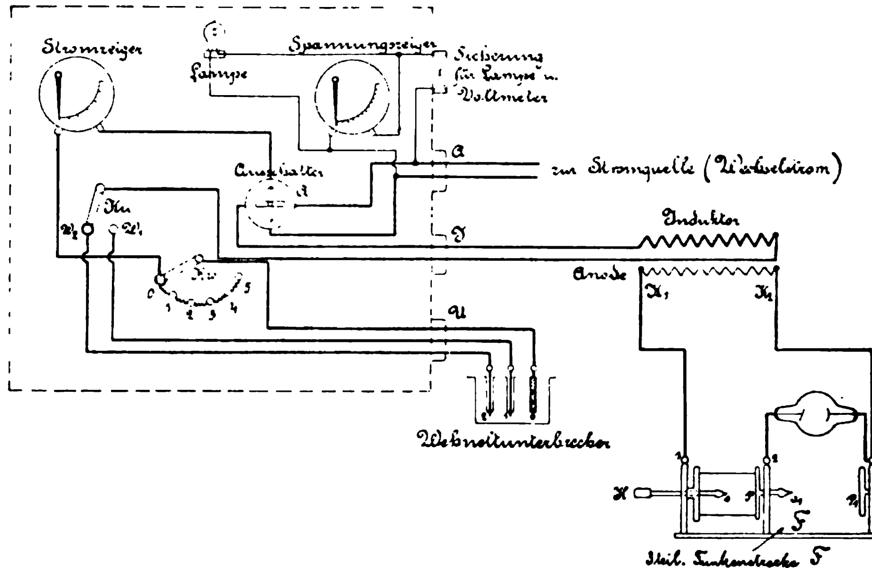


Figur 385.

Oeffnungsstrom ohne Schwierigkeit übersprungen wird, für die schwächeren Schließungsströme aber ein unüberwindbares Hindernis bildet.

Derartige regulierbare Funkenstrecken können entweder offen oder in einer Röhre angeordnet sein.

Figur 384 zeigt eine solche regulierbare Funkenstreckenröhre der Siemens & Halske A.-G., Berlin. Die gleiche Firma hat auch zur Beseitigung der schädlichen Schließungsinduktionsfunken, besonders bei Anwendung eines Wehnelt-Unterbrechers bei Wechselstrombetrieb, einen Funkenmesser mit drei Elektroden konstruiert (Figur 385), derart, daß die eine Funken-



Figur 386.

strecke der Röhre vor, eine zweite der Röhre parallel geschaltet ist. Die vorgeschaltete veränderliche Funkenstrecke ist in einem Rohr etwas abgedichtet eingeschlossen, um das störende Geräusch und das Licht der überspringenden Funken zu dämpfen und die Belästigung durch Ozonbildung möglichst zu vermindern. Figur 386 zeigt das Schaltungsschema einer Roentgeneinrichtung mit zweiteiligem Wehnelt-Unterbrecher zum Anschluß an ein Wechselstromnetz von 65 bis 125 Volt unter Benutzung der dreiteiligen Funkenstrecke.

b) Ventilröhren.

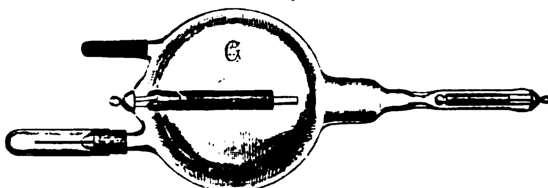
Da die Anwendung einer Funkenstrecke immerhin einige Unannehmlichkeiten mit sich bringt und auch viel Energie verloren geht, so hat man die dieser anhaftenden Uebelstände durch die Konstruktion von Drosselröhren zu vermeiden gesucht.

Die ältesten Röhren dieser Art beruhen auf Beobachtungen von Puluj, daß elektrische Entladungen in einem Vakuumrohr, das eine freie und eine eingeschlossene Elektrode enthält, nur von der eingeschlossenen zur freien Elektrode hin erfolgen.

Nach den Feststellungen von Hittorf ist dies darauf zurückzuführen, daß die statische Ladung der Glaswände das Auftreten von Kathodenstrahlen an der im engen Hals untergebrachten Elektrode verhindert.

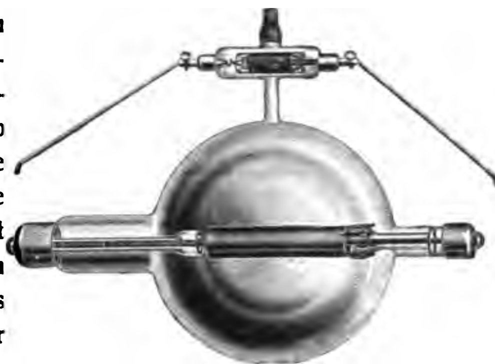
Figur 387 zeigt eine derartige ältere Ausführungsform einer Ventilröhre von Emil Gundelach in Gehlberg.*)

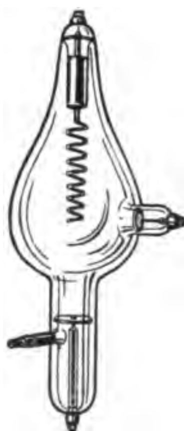
Für größere Energiemengen und für langandauernde Einschaltung eignet sich diese Röhrenform deshalb nicht, weil sich die angeschlossene Elektrode zu sehr erhitzt und schließlich den engen Hals sprengt.

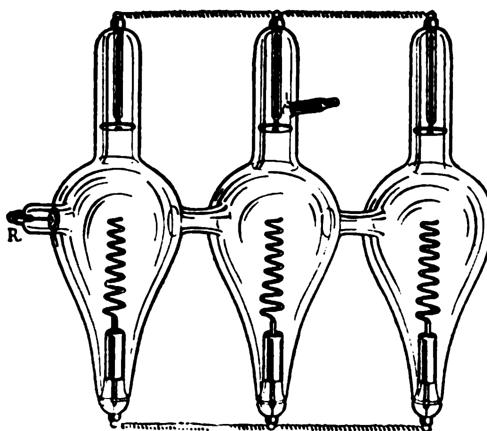


Figur 387.

Für die neuerdings eingeführten großen und größten Roentgenapparate hat Gundelach daher eine andere Ventilröhre**) konstruiert, deren Prinzip darauf beruht, daß die negative Entladung an einer Elektrode ebenfalls unmöglich gemacht wird, wenn sich die blanken Teile derselben innerhalb des dunklen Kathodenraumes der anderen Elektrode befinden (vgl.


Figur 388.


Figur 389.



Figur 390.

*) D. R.-P. Nr. 124075.

**) D. R.-P. Nr. 209969.

Figur 388). Die positive drahtförmige Elektrode steckt mit ihrem freien Ende mit einem gewissen Abstand innerhalb der negativen röhrenförmigen Elektrode. Durch eine derartige Ventilröhre kann der Strom nur dann gehen, wenn die röhrenförmige Elektrode Kathode ist.

Da sich bei längerem Gebrauch das Vakuum derartiger Drosselröhren ändert, so werden dieselben zweckmäßig ebenfalls mit einer Reguliervorrichtung ausgerüstet. Die älteren Gundelach'schen Drosselröhren haben meist Osmo-, die neueren Typen die neuere Gundelach-Reguliervorrichtung.

Figur 389 zeigt die Ventilröhre der Firma H. C. F. Müller, Hamburg. Für sehr starke Ströme wird eine Kombination von 3 parallel geschalteten Ventilröhren hergestellt, die Figur 390 zeigt. Da die Röhren miteinander in Verbindung stehen, besitzen dieselben stets gleichen Härtegrad.



Figur 391.

Die Müller'schen Ventilröhren, die mit Glimmerregulierung versehen sind, werden auf Wunsch auch aus farbigem Glas hergestellt, damit das Fluoreszenzlicht der Röhren nicht stört.

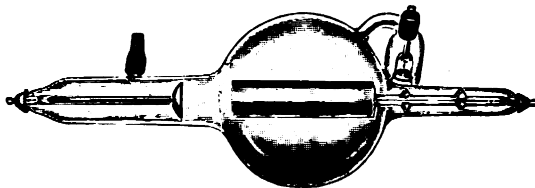
Weiter ist die Koch & Sterzel-sche Ventilröhre (Figur 391) anzuführen, deren Wirkung auf dem Prinzip beruht, daß das von der hohlspiegelförmig ausgebildeten Anode bei verkehrter Stromrichtung erzeugte Kathodenstrahlenbündel in das Innere einer in gleichem Abstand befindlichen Trichterkathode gerichtet ist. Durch Reflexion der Kathodenstrahlen wird das Kathodengefälle für die verkehrte Stromrichtung bedeutend erhöht. Diese Ventilröhren zeichnen sich durch



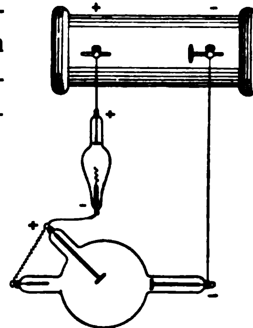
Figur 392.

hohe Lebensdauer aus und erwärmen sich selbst beim Hindurchgehen starker Ströme nicht merklich. Sie werden mit Osmo- oder Gundelach-Regenerierung versehen.

Figur 392 zeigt einen Wandhalter für eine derartige Ventilröhre mit Kurzschlußvorrichtung. Bei der neuesten Ausführungsform dieses Wandhalters wird die Röhre nicht kurzgeschlossen, sondern beide Pole werden abgeschaltet; während also bei der einfachen Anordnung die Ventilröhre nach Kurzschließung noch im Nebenschluß liegt und einen, wenn auch geringen Teilstrom erhält, kann bei der neuen Anordnung die Ventilröhre ganz außer Betrieb gesetzt werden.



Figur 393.



Figur 394.

Endlich sei der Vollständigkeit wegen noch der von der Polyphos Elektrizitätsgesellschaft m.b.H. in den Handel gebrachten Ventilröhre gedacht, die Figur 393 zeigt.

Die Drosselröhre muß der Roentgenröhre dauernd vorgeschaltet werden und zwar in der Weise, daß die freie Elektrode mit der Anode in der Röhre in Serie geschaltet wird (vergl. Figur 394), deren Kathode direkt mit dem negativen Pole des Funkeninduktors verbunden wird.

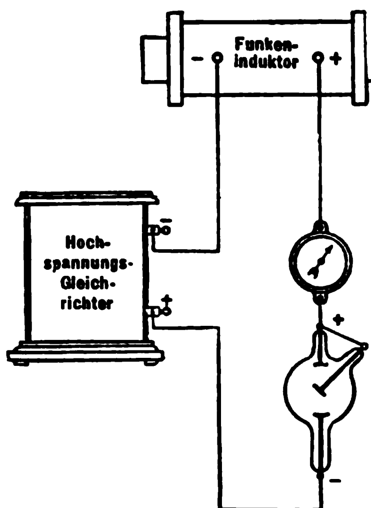


Figur 395.

c) Elektrolytische Hochspannungsgleichrichter.

Eine andere Vorrichtung zur Unterdrückung der verkehrt gerichteten Stromimpulse stellt der von Max Kohl, A.-G., Chemnitz, hergestellte elektrolytische Hochspannungsgleichrichter dar, der ebenfalls wie die Ventilröhre mit der Roentgenröhre in Serie geschaltet werden muß.

Der Gleichrichter (vgl. Figur 395) besteht im wesentlichen aus einer großen Anzahl von Aluminium-Gleichrichte-Zellen, deren jede eine Spannung

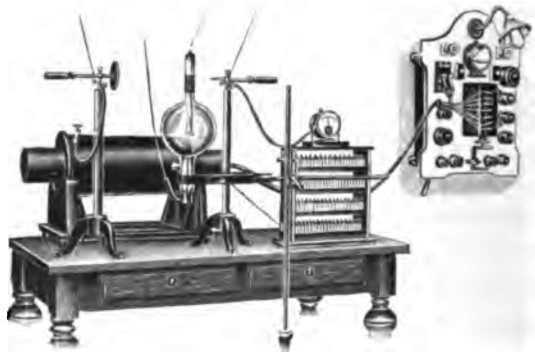


Figur 396.

von mehr als 500 Volt in der einen Richtung abzusperren vermag. Wird eine größere Batterie derartiger Zellen vor die Roentgenröhre geschaltet, so bietet dieselbe dem zur Erzeugung der Roentgenstrahlen dienenden Oeffnungsinduktionsstrom fast gar keinen Widerstand; den entgegengesetzten Schließungsstrom sperrt sie dagegen vollständig ab, so daß natürlich auch das Schließungslicht in der Röhre fortfällt. Ein Vorteil der Anordnung gegenüber den Ventilröhren besteht in der Unveränderlichkeit derselben; die einzelnen Zellen sind in herausnehmbaren Fächern innerhalb eines Holzgehäuses mit Glaswänden eingebaut, so daß man die ganze Batterie stets übersehen kann.

Die Anordnung vermag sich allen räumlichen Verhältnissen leicht anzupassen, da die Batterie einen verhältnismäßig geringen Raum beansprucht. Der ganze Apparat ist stabil gebaut und irgend welchen Gefahren wie Bruch, infolge unvorsichtiger Handhabung oder dergl., nicht ausgesetzt.

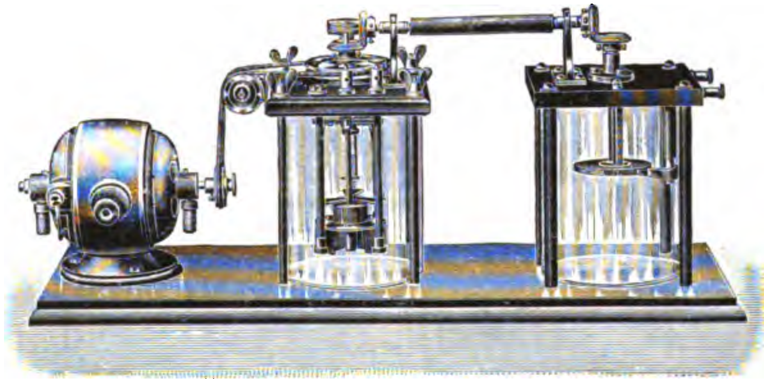
Figur 396 gibt eine schematische Darstellung der Einschaltung des Kohl'schen Hochspannungs - Gleichrichters, während Figur 397 ein Bild der wirklichen Ausführung einer vollständigen Roentgen - Einrichtung mit Hochspannungs - Gleichrichter gibt.


Figur 397.

d) Mechanische Vorrichtung zur Unterdrückung der Schließungsinduktionsfunken.

Die älteste Vorrichtung, welche die Schließungsfunken auf mechanischem Wege unterdrückt, ist von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen konstruiert worden; dieselbe ist aber nur bei Benutzung eines Quecksilberstrahl-Unterbrechers anwendbar. Sie besteht darin, daß der sekundäre Stromkreis während des Verlaufs des primären Schließungsstromes

geöffnet ist und erst kurz vor der Stromöffnung, also dann, wenn das magnetische Feld auf seinen Maximalwert gekommen ist und einen konstanten Wert besitzt, geschlossen wird. Umgekehrt wird der sekundäre Stromkreis bereits vor der primären Stromschließung geöffnet, nachdem die oszillatorischen Schwingungen des Kondensators auf ein Minimum abgeklungen sind, für die Roentgenröhre also nicht mehr in Betracht kommen. Die Vorrichtung selbst ist, wie aus der Abbildung (Figur 398) ersichtlich ist, durch Winkelräder und eine Welle aus isolierendem Material direkt mit dem Quecksilberstrahl-Unterbrecher gekuppelt und besteht aus einer, auf der senkrechten Welle sitzenden Ebonitscheibe, welche an ihrer Peripherie ebensoviele Metallsegmente trägt, als der Unterbrecher Flügel besitzt. Die Metallsegmente sind sämtlich mit der Achse leitend verbunden, von der die Leitung weiter zu der einen Außenklemme führt. Die andere Klemme steht



Figur 398.

in direkter Verbindung mit einer Metallbürste, welche federnd an der Peripherie der vorerwähnten Scheibe anliegt. Berührt die Bürste eins der Metallsegmente, so ist der sekundäre Stromkreis geschlossen. liegt sie auf Ebonit, so ist er unterbrochen.

Die Einstellung der Unterbrechungsvorrichtung für den sekundären Strom, in bezug auf den Unterbrecher für den primären Strom, muß nun so erfolgen, daß die Bürste auf der Ebonitscheibe gerade anfängt, ein Metallsegment zu berühren, wenn ein Flügel des Unterbrechers im Begriff steht, den Quecksilberstrahl abzuschneiden, und umgekehrt, muß der Kontakt zwischen Bürste und Metallsegment bereits aufgehoben sein, wenn der Flügel im Unterbrecher den Quecksilberstrahl nicht mehr hindert, auf den Metallteller zu treffen. Sind diese Bedingungen erfüllt, so sind natürlich die Schließungsfunken für die Roentgenröhre nicht mehr vorhanden. Die Isolation der ganzen Vorrichtung gegen Erde ist vorzüglich und die aktiven Teile derselben laufen unter Petroleum oder Alkohol.

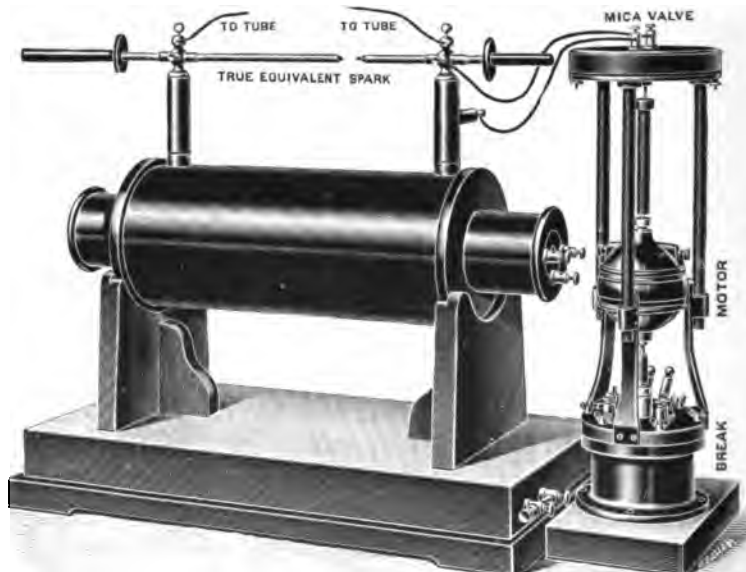
Aehnlich aber konstruktiv bedeutend einfacher ist die von Leslie Miller, London, in den Handel gebrachte Vorrichtung. Die Unterbrechungsvorrichtung besteht aus einer in Luft angeordneten rotierenden Glimmerscheibe mit einer Oeffnung. Fig. 399 zeigt den in Teil I S. 128 beschriebenen Strahlunterbrecher mit der auf gleicher Achse angeordneten Vorrichtung, Figur 400 die Verbindung derselben mit dem Induktor.



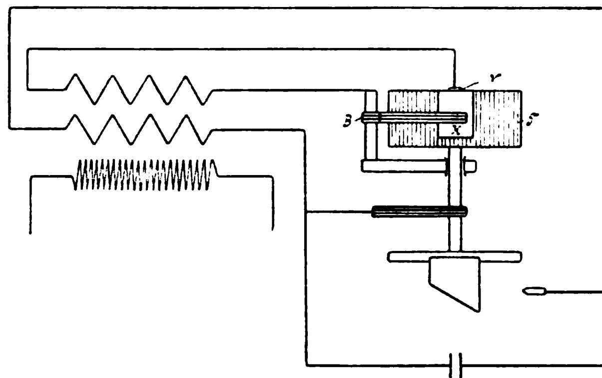
Figur 399.

Eine andere Methode dieser Art, die sich ebenfalls nur bei rotierenden Unterbrechern anwenden läßt, wurde vom Verfasser vorgeschlagen und ausgeführt. Das Charakteristische derselben besteht darin, daß die Schließungsinduktionsströme zum größten Teil von einer auf dem Primärkern des Induktors angebrachten Hilfs- oder Schirmwicklung aufgenommen werden und so in der sekundärenWicklung verschwinden. (Vgl. das Schema Figur 401.)

Die ganze Anordnung umfaßt neben dieser Schirmwicklung eine übrigens auch auf jedem normalen Strahlunterbrecher nachträglich anzubringende Kontaktvorrichtung, welche die Schirmwicklung im Rhythmus der Unterbrechungen steuert (vergl. Figur 402).



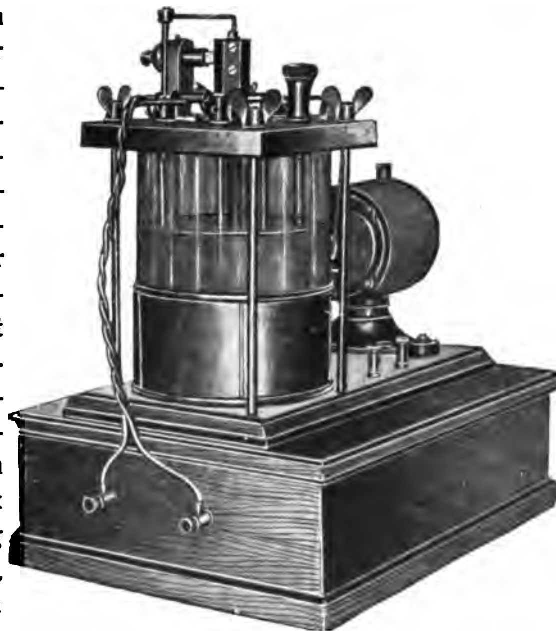
Figur 400.



Figur 401.

Die Wirkungsweise ist nun folgende:

Die durch die Hilfskontakt-Vorrichtung vor oder spätestens im Momente der primären Stromschließung geschlossene Stromwicklung nimmt die durch den primären Stromschluß hervorgerufene Induktionsenergie fast vollständig auf. Kurz vor oder im Momente der primären Stromöffnung öffnet dagegen die Hilfskontakt-Vorrichtung die Schirmwicklung, so daß sie hierbei wirkungslos bleibt und die Oeffnungsinduktionsspannung in der sekundären Wicklung des Induktors ungeschwächt zur Entfaltung gelangt. Praktisch von besonderer Wichtigkeit ist es, daß bei passend gewählten Verhältnissen die Unterbrechung der Schirmwicklung bei vollkommener Stromruhe erfolgen kann, da ja in derselben nur bei einer Aenderung der primären Stromstärke beziehungsweise der Feldstärke elektromotorische Kräfte induziert werden. Hat also der primäre Strom beziehungsweise das elektromagnetische Feld seinen oberen Grenzwert erreicht, so hört auch die Induktionswirkung auf die Schirmwicklung auf, der in dieser fließende Strom fällt gleichzeitig auf Null,


Figur 402.

so daß die Unterbrechung des Hilfskontaktes tatsächlich ebenso funkenfrei erfolgt als die Schließung. Hierdurch wird jede Komplikation vermieden und die größte Sicherheit für ein andauernd zuverlässiges Funktionieren der Vorrichtung gewährleistet.

Es ist nicht uninteressant, die bei dieser neuen Methode auftretenden Verhältnisse im Gegensatz zur normalen Anordnung mathematisch zu untersuchen.

Wird die elektromotorische Kraft E über die primäre Spule mit dem Widerstand R und der Selbstinduktion L geschlossen, dann ist bekanntlich die Stromstärke zur Zeit t

$$i(t) = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}\cdot t}\right)$$

und das durch diese hervorgerufene Feld

$$\Phi(t) = \frac{L}{Np}\, i(t),$$

wobei Np die primäre Windungszahl bezeichnet.

Sehen wir der Einfachheit wegen von der Rückwirkung der sekundären Wicklung auf die primäre ab, so erhalten wir die in der Sekundärspule (Windungszahl Ns) bei Aenderung des Feldes hervorgerufene Induktionsspannung

$$e(t) = -Ns\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{Ns}{Np}\cdot L\frac{di}{dt} = -\frac{Ns}{Np}\,E\,e^{-\frac{R}{L}\cdot t}.$$

Gehen wir jetzt zur neuen Methode über.

Zur Vereinfachung der Rechnung sei eine mit der primären Wicklung identische Schirmwicklung (mit einer Windungszahl Np) angenommen. Die elektromotorische Kraft der Stromquelle werde mit E, der Widerstand des primären Stromkreises mit R_1, die Selbstinduktion der primären (und also auch der Hilfswicklung) mit L und der Widerstand der Schirmwicklung mit R_2 bezeichnet. Dann ergibt eine einfache, energetische Betrachtung, die an dieser Stelle übergangen sei, für die primäre Stromstärke:

$$i_1(t) = \frac{E}{R_1}\left(1 - \frac{R_2}{R_1+R_2}\cdot e^{-\frac{R_1 R_2}{L(R_1+R_2)}\cdot t}\right)$$

für die Stromstärke in der Hilfswicklung:

$$i_2(t) = -\frac{E}{R_1+R_2}\cdot e^{-\frac{R_1 R_2}{L(R_1+R_2)}\cdot t}.$$

Das durch beide hervorgerufene elektromagnetische Feld ist daher:

$$\Phi(t) = +\frac{L}{Np}\cdot\frac{E}{R_1}\left(1 - e^{-\frac{R_1 R_2}{L(R_1+R_2)}\cdot t}\right).$$

Die bei Aenderung desselben in der sekundären Wicklung (Windungszahl Ns) hervorgerufene Induktionsspannung ist also jetzt:

$$e(t) = -Ns\,\frac{d\,\Phi}{d\,t} = -\frac{Ns}{Np}\cdot E\cdot\frac{R_2}{R_1+R_2}\,e^{-\frac{R_1 R_2}{L(R_1+R_2)}\cdot t}$$

Die Induktionsspannung ist am größten für $t = o$

$$e\,(t = o) = -\frac{Ns}{Np}\cdot E\cdot\frac{R_2}{R_1+R_2}.$$

$\frac{R_2}{R_1+R_2}$ ist stets kleiner als 1, die Schließungsinduktionsspannung ist also in dcr Tat bei Vorhandensein der Schirmwicklung stets geringer als ohne diese, für welchen Fall sich oben $-\frac{Ns}{Np}\cdot E$ ergeben hatte.

Wir lernen aus dieser Beziehung, daß wir die Schließungsinduktionsspannung um so mehr herabsetzen müssen, je kleiner wir R_2 im Verhältnis zu R_1 machen.

Besonders übersichtlich gestalten sich die Verhältnisse für $R_1 = R_2$. Dann ergibt sich nämlich:

$$e(t) = -\frac{Ns}{Np}\cdot E\cdot\frac{1}{2}\,e^{-\frac{R}{2L}\cdot t}$$

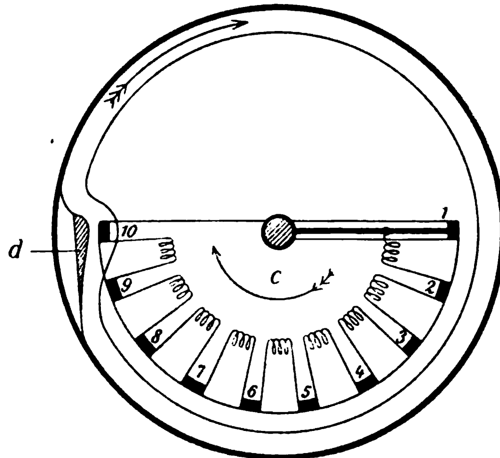
und

$$e\,(t = o) = -\frac{Ns}{Np}\cdot\frac{E}{2},$$

d. h. die Schließungsinduktionsspannung ist maximal (zurzeit $t = o$) nur halb so groß als ohne Schirmwicklung.

Faßt man alles zusammen, so sieht man, daß die günstige Wirkung der Schirmwicklung auf ein langsameres Ansteigen des elektromagnetischen Feldes zurückzuführen ist. Durch passende Wahl von R_1 und R_2 (unter Anwendung von Regulierwiderständen) kann man dieses Ansteigen nach Wunsch regeln.

Endlich kann man dieses langsamere Ansteigen auch durch besondere Konstruktion des Unterbrechers erreichen.



Figur 403.

Als Beispiel dieser Art sei hier die diesbezügliche Spezialkonstruktion des Dessauer'schen Deviations-Unterbrechers angeführt.

Der Kontaktkörper desselben weist die in Figur 403 schematisch dargestellte Form auf. Punkt 10 desselben, der zuerst in das Quecksilber taucht, ist über die Punkte 9, 8, 7 usw. mit dem Punkt 1 verbunden; zwischen diesen Punkten liegen Widerstände, so daß zunächst unmittelbar nach Stromschluß alle Widerstandsstufen eingeschaltet sind, bis die Punkte 9, 8, 7 usw. ebenfalls in das Quecksilber eingedrungen sind und so eine Widerstandsstufe nach der andern ausgeschaltet wird; erst bei Punkt 1, also kurz vor der Unterbrechung, ist der Kontakt direkt hergestellt.

Der Stromanstieg erfolgt daher so allmählich, daß die Sekundärstromimpulse verkehrter Richtung praktisch bedeutungslos sind.

Sechzehntes Kapitel.

Ueber die Roentgenstrahlen-Meßtechnik.

Ein besonders heikeles Gebiet der Roentgenstrahlentechnik ist die exakte Messung der in Frage kommenden Größen. Wir wollen versuchen, im folgenden eine allgemein verständliche Uebersicht der verschiedenen Meßmethoden zu geben und hoffen, damit zur Klärung dieses überaus wichtigen Gebietes beizutragen.

1. Ueber die Messung des Durchdringungsvermögens der Roentgenstrahlen. (Härteskalen.)

Um möglichst kontrastreiche Bilder des mit Roentgenstrahlen zu durchleuchtenden Körperteiles zu erhalten, muß man, wie wir oben gesehen haben, die Härte der Roentgenröhre dem Durchlassungsvermögen der in Frage kommenden Teile so weit als möglich anpassen, d. h. in jedem Fall eine Röhre möglichst geringer Härte wählen. Die einfachste Beurteilung des jeweiligen Härtezustandes der Röhre geschieht nach dem Aussehen des auf den Fluoreszenzschirm entworfenen Handbildes des Beobachters, ein Verfahren, das zwar recht zuverlässig, aber auf die Dauer nicht ungefährlich ist.

Man hat daher die eigene Hand durch eine präparierte Skeletthand, welche zweckmäßig an einem Stiel befestigt wird, zu ersetzen gesucht. (Chiroskop, vergl. Figur 404.)

Zur zahlenmäßigen Feststellung des Durchdringungsvermögens der Roentgenstrahlen dienen die sogenannten Härtemesser oder Härteskalen,

deren ältestes, das Skiameter, aus einem Fluoroskop besteht, vor dessen Leuchtschirm ein System numerierter Stanniolblätter angebracht ist. Figur 405 zeigt ein derartiges Instrument von Max Kohl A.-G. in Chemnitz. Der Leuchtschirm von 12 cm im Quadrat wird durch Quadrate in 16 Felder geteilt, auf deren jedem eine Zahl aus Blei befestigt ist. Diese Zahlen erscheinen bei Durchleuchtung absolut dunkel. Die einzelnen Quadrate sind mit einer steigenden Anzahl starker Stanniolblätter belegt: Nr. 1 bleibt frei, Nr. 16 enthält 15 Stanniolblätter übereinander, die eine Gesamtdicke von 0,65 mm haben. Bei der Durchleuchtung heben sich diejenigen Bleizahlen ab, deren zugehörige Stannioldicke von den Strahlen der Röhre durchdrungen wird, die höheren Zahlen bleiben unsichtbar. Je höher demnach die noch erkennbare Zahl ist, desto größer ist das Durchdringungsvermögen der Strahlen. Da hierbei der Abstand der Röhre vom Leuchtschirm von wesentlichem Einfluß ist, so ist an dem Instrument vor dessen Leuchtschirm ein trichterförmiger Kasten angebracht, dessen Oeffnung man direkt an die Röhre anlegt. Beim Vergleich mehrerer Röhren untereinander hat man auf die verschiedenen Durchmesser der Glaskugeln Rücksicht zu nehmen, indem man das Skiameter immer in gleiche Entfernung von der Antikathode der Röhre bringt. Allerdings muß man berücksichtigen, daß die Fluoreszenzwirkung und die photographische Wirkung einer Röhre nicht identisch sind; mit der wachsenden Leistung einer Röhre steigern sich diese Wirkungen ungleich, so daß z. B. die photographische Wirkung einer harten Röhre, die also recht stark durchdringende Strahlen erzeugt, viel kleiner ist als die einer weichen,



Figur 404.



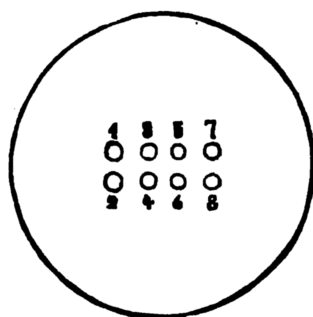
Figur 405.

weniger durchdringungsfähige Strahlen erzeugenden Röhre. Insofern ist also das Skiameter für die Expositionszeit nicht maßgebend; um über letztere einen Anhaltspunkt zu gewinnen, muß man mit ihm nicht bloß die Durchdringungsfähigkeit der Strahlen, sondern auch die Kontrastwirkung der Röhre kontrollieren, indem man den Helligkeitsunterschied zwischen dem hellsten und dunkelsten Feld beobachtet.

Für die photographische Aufnahme starker Körperteile, wie Brustkorb und Becken, werden harte Röhren nicht zu entbehren sein, aber selbst die durchdringendste Roentgenröhre ohne Kontrast wird immer Fehlaufnahmen geben.

Eine vereinfachte Härteskala wurde von C. Beez vorgeschlagen; dieselbe besteht im wesentlichen aus einer Bleiplatte mit fünf in Form von Buchstaben angeordneten Durchlochungen, welche mit Materialien gleicher Stärke aber verschiedener Durchlässigkeit hinterlegt sind. Die Anzahl der auf dem vor den Durchlochungen angebrachten Leuchtschirm sichtbaren Buchstaben dient zur Beurteilung des Härtegrades der Röhre.

Neuerdings hat Dr. Walter ein verbessertes Skiameter angegeben, welches eine genauere Härtebestimmung vorzunehmen gestattet. Diese Walter'sche Härteskala*) besteht im wesentlichen aus einer allseitig mit dünnem Holz umkleideten Bleischeibe, durch deren mittleren Teil acht kreisrunde Löcher von je 6 mm Durchmesser und je 10 mm Abstand geschlagen sind. Diese Löcher sind mit Platinblechen (Platin erzeugt nämlich eine bedeutend schwächere Sekundärstrahlung als Zinn, die Bilder der schwach durchstrahlten Felder sind daher bedeutend schärfer!) bedeckt, deren Dicke in der in Figur 406 angegebenen Reihenfolge von 0,005 mm für Nr. 1 bis 0,64 mm für Nr. 8 in geometrischer Progression zunimmt. Hierdurch wird erzielt, daß man einerseits mit einer kleineren Anzahl von Feldern auskommt, andererseits die Bestimmung des Härtegrades von der Belastung der Röhre scheinbar unabhängiger ist.



Figur 406.

Eine Roentgenröhre ist nun um so härter, je mehr Platinbleche ihre Strahlung zu durchdringen vermag; sie hat also beispielsweise die Härte 6, wenn man auf dem hinter den Löchern angebrachten Leuchtschirm sechs helle Kreise erkennen kann. Dabei ist zu beachten, daß man eine

*) Vergl. Dr. B. Walter, Fortschritte auf dem Gebiete der Roentgenstrahlen, Band VI, Heft 2, S. 68 u. ff. 1902.

solche Härtemessung stets erst nach längerem Aufenthalt (5 bis 10 Min.) in einem nur schwach erleuchteten Zimmer vornehmen darf, und daß man auch während der Messung selbst jedes fremde Licht vom Auge fernhalten muß. Das Licht der Röhre selbst deckt der Bleischirm des Instruments von selbst ab, wenn man das letztere, wie vorgeschrieben, der Glaskugel der Röhre bis auf einige Zentimeter nähert. Dabei ist das Instrument natürlich so zu halten, daß die Roentgenstrahlung der Röhre sämtliche Löcher der Skala frei passieren kann.

Ferner greife der Beobachter das Instrument stets an dem oben auf der Holzbekleidung angebrachten Metallrohr an, da dann seine Hand durch die im Holz verborgene Bleischeibe gegen die Strahlung der Röhre geschützt ist. Um auch seine Augen und sein Gesicht gegen die durch die Löcher der Skala selbst hindurchdringende Strahlung zu schützen, ist hinter dem Leuchtschirm eine Platte aus Bleiglas angebracht, das selbst für die härtesten Roentgenstrahlen fast vollkommen undurchlässig ist. Zur Zählung der auf dem Leuchtschirm sichtbaren Kreise braucht man die Augen nicht bis dicht an das Metallrohr des Instrumentes heranzuführen, sondern kann aus der bequemeren Entfernung der deutlichen Sehweite beobachten.


Figur 407.

Bei sehr häufiger Anwendung des Instrumentes innerhalb weniger Stunden ist der Leuchtschirm desselben ab und zu etwas hin und her zu schieben, da sonst das Baryum-Platincyanür immer an denselben Stellen bestrahlt und seine Empfindlichkeit daselbst leiden würde. Durch Lösung der Führungsschraube läßt sich der Schirm erforderlichen Falles auch ganz herausziehen und von der entgegengesetzten Seite her einschieben.

Diese Walter'sche Härteskala wird in der in Figur 407 wiedergegebenen Ausführungsform von Richard Seifert & Co. in Hamburg in den Handel gebracht.

Weiter ist hier die Skala von Benoist in Paris anzuführen, welche gegenüber der Walter-Skala den nicht zu unterschätzenden Vorteil besitzt, eine völlig einwandfreie, von der Belastung der Röhre unabhängige Härtebestimmung zu ermöglichen. Diese Härteskala beruht auf der ungleichen Aenderung der Transparenz verschiedener Körper bei Veränderung der Qualität der Roentgenstrahlen. Bei der Benoist'schen Skala sind um eine in der Mitte angebrachte 0,11 mm dicke Silberblechplatte zwölf aus

1 bis 12 mm dickem Aluminiumblech bestehende Sektoren angeordnet. Die Härte der Röhre wird nun in der Weise gemessen, daß auf einem hinter die Skala gehaltenen Leuchtschirm die Nummer desjenigen Aluminiumsektors bestimmt wird, welcher die gleiche Durchlässigkeit wie die mittlere Silberscheibe zeigt, was an der gleichen Helligkeit der den betreffenden Schichten entsprechenden Teile des Leuchtschirmes erkannt wird. Die Aenderung der Entfernung des Instruments von der Röhre oder die Variierung der Roentgenstrahlenhelligkeit ändern nichts an den Angaben des Instruments, da die in Frage kommenden Felder des Benoist'schen Instruments beide in demselben Maße heller oder dunkler werden*).

Walter hat diese Benoist'sche Skala in der Weise modifiziert, daß er die Abstufungen derselben mit denen seiner Härteskala in Uebereinstimmung brachte. Der Benoist-Walter'sche Härtemesser besitzt dementsprechend unter Beibehaltung des mittleren 0,11 mm dicken Silberblechs eine sechsstufige Skala, und zwar nimmt die Dicke des Aluminiumblechs nicht mehr, wie bei dem ursprünglichen Instrumente nach einer arithmetischen Reihe erster, sondern nach einer solchen zweiter Ordnung zu. Der durch diese Verbesserung erreichte praktische Fortschritt besteht in der gleichmäßigen Helligkeitsabstufung zwischen den in Betracht kommenden Aluminiumfeldern bei allen Röhrenhärten, während dieselbe früher bei den weichen Röhren viel zu stark und bei den harten dagegen viel zu schwach war.



Figur 408.

Fig. 403 zeigt eine von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen in den Handel gebrachte, von Wehnelt herrührende Modifikation der Benoist-Walter'schen Härteskala mit Kryptoskop, Kryptoradiometer genannt.

In der ersten Ausführungsform bestand das Instrument aus einer Aluminiumplatte mit rechteckigem Ausschnitt. Neben dem Ausschnitt, der durch eine dünne Silberplatte abgedeckt ist, befand sich ein in arithmetischer

*) Ueber eine verbesserte von Cl. Ropiquet in Amiens herrührende Konstruktion der Benoist-Skala, Radioqualimeter genannt, siehe „Der Mechaniker" Nr. 22, 1906.

Reihe zweiter Ordnung stufenförmig verdickter Aluminiumstreifen, dessen einzelne Stufen durch Bleizahlen kenntlich gemacht waren. Neuerdings ist an Stelle des stufenförmig verdickten Aluminiumstreifens ein in seiner Dicke nach einer logarithmischen Kurve zunehmender Aluminiumkeil getreten. Bei der Messung hat man nun den Aluminiumkeil mit Hilfe eines drehbaren Knopfes so lange zu verschieben, bis die untere und obere Hälfte des auf dem Leuchtschirm sichtbaren schmalen Fensters gleich hell sind, worauf man die zugehörige Härte auf einer an dem Instrument befindlichen Skala (bei Beleuchtung!) abliest. Das Instrument gibt wohl die genauesten Resultate aller Härteskalen.

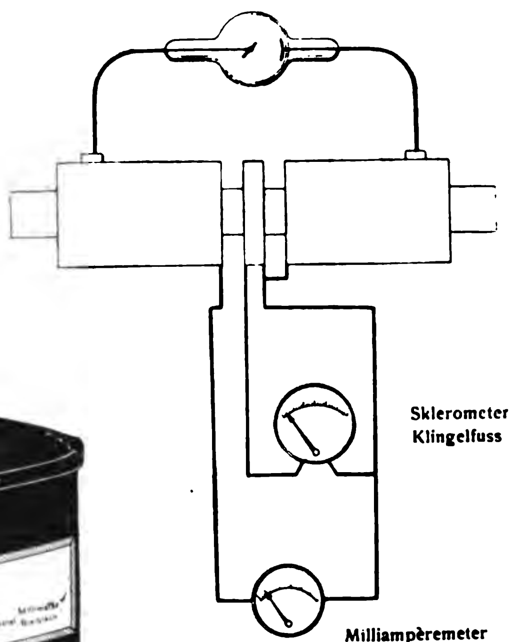
Silber- und Aluminiumstreifen sind von einem Rahmen aus für Roentgenstrahlen schwer durchlässigem Material verschlossen. Das Instrument ist mit Schutzgriff zur Verhütung von Hautverbrennungen versehen. Der Leuchtschirm ist verschiebbar angeordnet, um eine Ermüdung der aktiven Salze zu vermeiden.

Im folgenden sei noch eine Zusammenstellung der verschiedenen Skalen und der sich einander entsprechenden Nummern der beschriebenen Härteskalen gegeben.

Skala	Bezeichnung	Nummer der Skala							
Benoist . . .	B	2	2½	3	4	5	6	7	8
Benoist-Walter	B.-W	1	2	3	4	4½	5	5½	6
Wehnelt . . .	We	1,8	3,3	4,9	6,5	7,3	8,0	8,8	9,6
Walter	W	2½	3½	4½	5½	6	6½	7	7½

Ein gewisser Nachteil aller dieser Härteskalen besteht darin, daß die Ablesung subjektiv erfolgt, also von der Auffassung des Beobachters abhängt. In dieser Hinsicht wäre offenbar ein objektives Meßverfahren bedeutend exakter, zumal es eine dauernde Kontrolle der Röhrenhärte gestatten würde. Ein solches müßte sich, wie man annehmen sollte, auf die auf Seite 243 angeführte Tatsache gründen lassen, daß zum Betriebe einer harten Röhre eine höhere Spannung erforderlich ist, als zur Speisung einer weichen Röhre. Jede Anordnung, die also die Röhrenspannung zu messen gestattet, sollte danach auch eine Messung des Durchdringungsvermögens der Röhrenstrahlung ermöglichen. Das einfachste derartige Mittel ist offenbar die Parallelfunkenstrecke (vergl. S. 281). Man nähert nach Einschaltung der Röhre Spitze und Platte solange, bis die ersten Funken überspringen; die Länge dieser Funken dient dann als Maß für die Härte der Röhre. Die Erfahrung hat aber gelehrt, daß diese Methode sehr unsichere Resultate liefert. Der Grund liegt einerseits daran, daß, worauf wir bereits auf Seite 243 hingewiesen haben, der Widerstand der Röhre nicht konstant ist, sondern sich auch während jeder

Entladung ändert, so daß die Speisestromstärke und damit auch die an den Röhrenpolen auftretende elektrische Spannungsdifferenz erheblich schwankt, andererseits daran, daß jede Entladung aus einer Aufeinanderfolge einzelner sehr kurz andauernder Stromstöße besteht. Durch die Funkenstrecke kann nur die maximale Spannungsdifferenz gemessen werden, während natürlich die Roentgenstrahlenqualität von sämtlichen, während einer vollständigen Entladung auftretenden Spannungswerten abhängt.



Figur 409.


Figur 410.

Ferner ist, wie schon früher auseinandergesetzt, auch die Betriebsweise (Art des Instrumentariums) der Röhre von größtem Einfluß.

Aus den angeführten Gründen hat man daher bald die Parallelfunkenstrecke verlassen und ein Elektrometer(Voltmeter)zur Messung der Röhrenspannung angewendet,dessen Angaben ebenso wie die zu messende Qualität der Strahlen von sämtlichen Spannungswerten während einer Entladung abhängt. Die mit derartigen Voltmetern ausgeführten Messungen sind schon bedeutend zuverlässiger

und exakter als jene mit der Funkenstrecke.[1]) Im allgemeinen lassen sie aber Vergleiche nur bei ein und demselben Instrumentarium oder höchstens bei ähnlichen Instrumentarien zu. Bei verschiedenen Arten von Hochspannungsapparaten differieren ihre Angaben wesentlich.

Klingelfuß[2]) hat dieses Verfahren noch vereinfacht, indem er nicht die Gesamtspannung, sondern einen niederen Bruchteil derselben mißt. Zu diesem Zwecke unterteilt er die Sekundärspulen seiner Induktorien, in der aus Figur 409 schematisch dargestellten Weise. Bei älteren sekundär nicht unterteilten Induktorien kommt eine aus wenigen Windungen bestehende Tertiärwicklung zur Anwendung.

Als Meßinstrument (Sklerometer genannt) kommt ein Hitzdraht-Voltmeter zur Anwendung, das direkt in Benoist-Einheiten geteilt ist. Auf den ersten Blick sollte man glauben, daß ein statisches Voltmeter bedeutend geeigneter sei. Klingelfuß hat aber in einer ausführlichen Arbeit über das Funkenpotential und die elektromotorische Kraft der gedämpften Welle eines Induktoriums bei den Entladungen durch Gaswiderstände, auf die an dieser Stelle nur verwiesen werden kann[3]), die Gründe auseinandergesetzt, die ihn veranlaßten, das zuerst benutzte Multizellular-Elektrometer durch ein Hitzdraht-Voltmeter zu ersetzen, und hat experimentell nachgewiesen, daß dessen Angaben durchaus korrekt sind, da die Oberschwingungen sich nur an den Enden der sekundären Spule ausbilden, sich aber nicht bis in die Mitte der Spule fortpflanzen.

Endlich ist hier noch das Qualimeter von Heinz Bauer (Figur 410) anzuführen, welches aus einem aus zwei zwischen feststehenden Flächen gebildeten Flügeln bestehenden, in einer Hartgummikapsel angeordneten und an einem Arm leicht drehbar befestigten Horizontal-Elektrometer mit vorgeschaltetem Kondensator gebildet ist und nur einpolig und zwar mit der Kathode des Induktors oder der Roentgenröhre verbunden wird. Die Größe der Abstoßung, die durch einen über einer Skala spielenden Zeiger leicht ablesbar ist, bildet ein Maß für die Strahlenhärte. Die Skala ist nach der Absorption geeicht, die die Strahlen in Bleiblech, dessen Stärke stufenförmig immer um je ein Zehntel Millimeter von 0,1—1 mm anwächst, erfahren; sie stimmt im wesentlichen mit der Benoist-Skala überein.

---

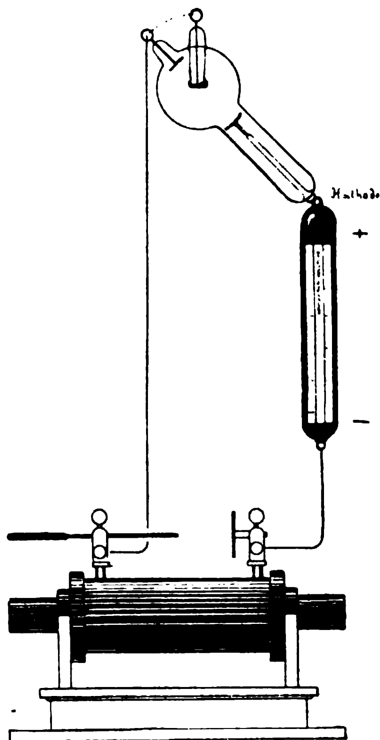
[1]) Vergl. hierzu auch Bergonié, Archives d'Electricité Médicale Nr. 208, 1907.

[2]) Verhandlungen der Deutschen Roentgengesellschaft, Band IV, p. 145, 1908; Comptes rendus des Séances du IV. Congrès international d'Electrologie et de Radiologie médicales, Amsterdam 1908; Münchener med. Wochenschrift Nr. 29, 1908.

[3]) Vergl. Verhandl. d. Naturforsch.-Ges., Basel 21, S. 51—63, 1910; Elektrophysikalische Rundschau S. 137—140, 1912.

2. Ueber die Messung der Intensität der Roentgenstrahlen.

Sowohl für die Roentgenographie (zur Bestimmung der Expositionszeit) als auch Roentgentherapie (zur Ermittlung der Bestrahlungszeit) ist die Messung der Intensität der Roentgenstrahlen von größter Bedeutung. Die verbreitetsten Methoden dieser Art sind indirekte, insofern nicht die Intensität der Roentgenstrahlen direkt gemessen, sondern auf dieselbe z. B. aus der Stärke des Speisestromes der Röhre geschlossen wird. Da die Roentgenstrahlung in erster Annäherung von der die Röhre passierenden variierenden Elektrizitätsmenge abhängt, so ergibt sich, daß man zu einer derartigen Messung nur Gleichstrom-Instrumente anwenden kann, am besten solche, die arithmetische Mittelwerte zu messen gestatten. Hitzdrahtinstrumente und Dynamometer, deren Ausschläge dem Quadrat der Stromstärke (effektive Stromstärke) proportional sind, sind für diese Zwecke ungeeignet. In der Praxis wird für diese Zwecke fast ausschließlich das Drehspul-Milliampèremeter (mit besonders exakter Isolation) angewendet, das man mit der Roentgenröhre in Serie schaltet. Zu beachten ist, daß sich nur dann verläßliche Angaben ergeben, wenn die Röhre tatsächlich nur von Stromstößen gleicher Richtung durchflossen wird. Geht z. B. auch der Schließungsinduktionsstrom, der, wie wir wissen, keine nutzbare Roentgenstrahlung erzeugt, durch die Röhre, so wird das Milliampèremeter auch von Strömen verkehrter Richtung durchflossen, der Ausschlag wird verkleinert und zeigt daher eine geringere Stromstärke an, als der Intensität der Roentgenstrahlung entspricht. Um auf diese Ursache zurückzuführende Fehler zu vermeiden, ist es daher unerläßlich, sich vor oder während der Messung von der Abwesenheit von Strömen falscher Richtung durch die Röhre zu überzeugen. Hierzu bedient man sich vorteilhaft einer der früher beschriebenen Glimmlicht-Kontrollröhren.



Figur 411.

Verfasser hat den Vorschlag gemacht, Meßinstrument und Glimmlichtkontrollröhre zu vereinigen. Diese Kombination, die sogenannte Glimmlicht-Meßröhre (D. R.-P. Nr. 167067) ist in Fig. 411 abgebildet. Sie besteht

aus einer evakuierten Glasröhre mit zwei axial angeordneten Elektrodendrähten, von denen der dünnere, längere Kathodendraht zur Messung benutzt wird.

Wird die Meßröhre mit ihrer mit + bezeichneten Seite an die Kathode der Roentgenröhre angehängt, so daß sie mit ihr in Serie geschaltet ist, so überzieht sich beim Betriebe der Roentgenröhre der Kathodendraht der Meßröhre in einer der jeweiligen Stromstärke proportionalen Länge mit blauem Glimmlicht.

An einer an der Röhre angebrachten Skala, welche empirisch nach Milliampères geeicht ist, kann somit jederzeit die jeweilig vorhandene maximale Betriebsstromstärke, ähnlich wie die Temperatur an einer Thermometerskala, abgelesen werden, was sowohl für photographische als auch insbesondere für therapeutische Zwecke äußerst wichtig ist, da es sich experimentell ergeben hat, daß beim gleichen Roentgeninstrumentarium, gleicher Härtegrad der jeweilig benutzten Roentgenröhre vorausgesetzt, innerhalb gleicher Zeiten der gleichen maximalen Stromstärke stets dieselbe Roentgenstrahlenintensität entspricht bezw. letztere in erster Annäherung mit den Angaben der Meßröhre in geradem Verhältnis steht.

Im Gegensatz zum Drehspul-Instrument wurden hier also die Maximalwerte der Stromstärke zur Messung herangezogen. Eine Fälschung der Angaben des Vakuum-Milliampèremeters durch die Schließungsinduktionsströme ist ausgeschlossen, da das hierdurch hervorgerufene Glimmlicht an der zur Messung nicht benutzten kürzeren unsichtbaren Elektrode auftritt.

Um aus den Angaben des Milliampèremeters und der Meßröhre auf die Intensität der Roentgenstrahlung zu schließen, muß man noch verschiedene Faktoren berücksichtigen, in erster Linie den Abstand des Brennfleckes der Röhre von dem zu durchstrahlenden oder bestrahlenden Objekt, da ja die Intensität mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt (Milliampère-Zentimeter). Einen weiteren Einfluß übt die Röhrenhärte aus; bei gleichem Ausschlag des Meßinstrumentes gibt eine harte Röhre intensivere Strahlung als eine weiche Röhre. Endlich ist auch bei gleicher Härte die Intensität der Strahlung von der Beschaffenheit der Röhre selbst (Antikathodenmaterial, Glasdicke, Gasinhalt usw.) abhängig; jede Röhre besitzt gewissermaßen einen anderen Transformationskoeffizienten. Aus dem Gesagten ergibt sich, daß die indirekten Methoden der Intensitätsmessung im allgemeinen große Nachteile aufweisen.

Recht brauchbar sind sie dagegen, wie bereits hervorgehoben, wenn es sich um Vergleichsmessungen bei einer und derselben Röhre und dem gleichen Instrumentarium handelt. Das einzige direkte Meßverfahren, welches einen großen Teil der oben angeführten Uebelstände vermeidet,

rührt vom Verfasser her, welcher vorschlug, die Intensität der Roentgenstrahlung direkt mittels einer nach einem besonderen Verfahren sensibilierten Selenzelle zu messen.

Das von der Firma Dr. Max Levy in Berlin in den Handel gebrachte Roentgenstrahlenphotometer besteht aus einer in ein lichtdichtes Kästchen eingeschlossenen Selenzelle. Ihre Widerstandsänderung, die an einem empfindlichen Milliampèremeter leicht abgelesen werden kann, gibt ein Maß für die Intensität der Strahlung. Der Apparat enthält außerdem einen Kontrollwiderstand und eine Kurzschlußtaste, um die Elementspannung jederzeit prüfen zu können. Bei Anwendung des Photometers wird die Selenzelle entweder mittels Handgriffes in das Strahlungsgebiet gebracht oder, was bedeutend zweckmäßiger ist, mittels einer Klammer direkt an der Roentgenröhre derart befestigt, daß die im allgemeinen nicht ausgenutzte rückwärtige Strahlung der Röhre zur Messung herangezogen wird.

Es muß hier noch auf einen Vorteil des Roentgenstrahlenphotometers hingewiesen werden, der von nicht zu unterschätzender Bedeutung für seine Anwendung in der Therapie ist, nämlich die Abhängigkeit der Angaben des Instrumentes auch von der Qualität der Strahlen. Je mehr Roentgenstrahlen nämlich innerhalb der strahlenempfindlichen Schicht absorbiert werden, je größer fällt der Ausschlag des Milliampèremeters aus; die Angaben ändern sich also mit der Strahlenart in ähnlicher Weise wie die Wirkung der Strahlen auf das menschliche Gewebe, d. i. ihre therapeutische Wirksamkeit.

3. Ueber die Messung der Roentgenstrahlenmenge.

(Roentgenradiometer.)

Speziell für die Roentgentherapie zur Dosierung ist die Messung der Roentgenstrahlenmenge von größter Wichtigkeit. Dieselbe ergibt sich zwar ohne weiteres, wenn man die mittlere Roentgenstrahlenintensität mit der Zeitdauer der Bestrahlung multipliziert. Es gibt aber auch hier besondere Meßmethoden und zwar kann man wieder zwischen indirekten und direkten Verfahren unterscheiden. Zur ersten Gruppe gehört die Messung der die Röhre während der Bestrahlung durchfließenden Elektrizitätsmenge mittels Voltameters. Letzteres besteht aus einer kleinen Zersetzungszelle, die mit der Roentgenröhre in Serie geschaltet ist. Die entwickelte Gasmenge, deren Volumen an einer Skala abgelesen werden kann, ist direkt der Elektrizitätsmenge proportional. Verfasser hat einen Apparat dieser Art konstruiert, bei welchem die Ablesung der angesammelten Gasmenge mittels eines kurzen Quecksilberfadens, der sich in einer Kapillarröhre verschiebt, geschieht. Die Eichung erfolgt nach Milliampèreminuten. Zu

den direkten Methoden, die im Gegensatz zu den indirekten eine subjektive Beobachtung erfordern, gehören die Radiometerverfahren von Holzknecht, Sabouraud und Noiré und Kienböck, bei denen die Wirkung der Strahlen an der Veränderung eines sogenannten Reagenzkörpers gemessen wird.

Das älteste Instrument dieser Art ist das Holzknecht'sche Chromoradiometer, welches jetzt allerdings nicht mehr im Handel zu haben ist. Holzknecht benutzte bei demselben die Eigenschaft gewisser Salze, sich beim Auftreffen von Roentgenstrahlen zu färben, wobei die Tiefe der Färbung mit der im Salz absorbierten Roentgenstrahlenmenge parallel verläuft.*)

An einer entsprechenden Menge eines solchen Salzes, die man neben die zu bestrahlende Stelle auf die Haut legt, wurde dann die Wirkung durch Vergleich mit einer Normalskala kontrolliert, indem man die Bestrahlung solange fortsetzte, bis die richtige Färbung erreicht war. Ob man mit starker oder schwacher Intensität aus großer oder geringerer Entfernung bestrahlt, ist für die Erreichung der richtigen Dosierung gleichgültig. Figur 412 zeigt den im wesentlichen aus einer Reihe solcher Reagenzkörper mit stufenweise zunehmender, im Tageslicht unveränderlicher bläulich-grüner Färbung bestehende Standardskala und einer Anzahl durch Zusammenschmelzung von Kaliumsulfat mit 0,7 % Natriumkarbonat hergestellten Reagenzkörper bestehenden Holzknecht'schen Apparat.



Figur 412.

Das Holzknecht'sche Verfahren litt an dem Uebelstand, daß es zur Dosierung schwacher Roentgenstrahlenmengen zu unempfindlich war.

Sabouraud und Noiré suchten diesen Uebelstand dadurch zu beseitigen, daß sie den Reagenzkörper in halber Entfernung von dem zu bestrahlenden Objekt anordneten und den Reagenzkörper durch Baryumplatincyanür ersetzten, welches sich, wie bereits früher erwähnt, bei langer Einwirkung von Roentgenstrahlen von hellgrün in hellgelb, gelbbraun und zuletzt in rot verfärbt (Fig. 413). Da das Reagenzpapier am Tageslicht seine ursprüngliche

*) Vergl. Wiener klinische Rundschau Nr. 35, 1902.

Farbe allmählich wieder annimmt, kann man denselben Körper mehrere Male benutzen, doch muß man sich vorher durch Vergleich mit der Normalfarbe überzeugen, daß dasselbe letztere auch schon tatsächlich wieder angenommen hat. Starke Erwärmung des Körpers, zu große Nähe an die Glaswand der Röhre, ist zu vermeiden, da auch durch diese eine Verfärbung herbeigeführt werden kann. Eine Modifikation der Sabouraud und Noiré-schen Anordnung ist das Chromoradiometer von Bordier, dem eine 4 stufige Skala zu Grunde liegt (Figur 414). Die Einheit *i* nach Bordier ist die Roentgenstrahlenmenge, die aus 1 ccm 2 % Jodoform-Lösung 0,1 mg Jod in der Dunkelheit ausscheiden kann. Die Reagenzpastille muß entweder auf die Haut geklebt werden oder auf der gleichen Ebene und in der gleichen Entfernung wie die zu bestrahlenden Gewebe sich befinden.



Figur 413.



Figur 414.

Beim Kienböck'schen Quantimeter-Verfahren (Fig. 415) endlich wird als Reagenzkörper schwach empfindliches Bromsilberpapier benutzt, welches bedeutend empfindlicher ist als die älteren Reagenzmittel. Die Standardskala besitzt 16 Felder, deren Färbung von weiß bis tiefschwarz reicht. Die Probe wird unmittelbar neben die oder sogar auf die zu bestrahlende

Körperstelle gelegt. Die Reagenzkörper sind in schwarzes Papier gepackt. Einen Nachteil bildet die erforderliche photographische Entwicklung, die in einem bestimmten Entwickler bestimmter Temperatur während einer



Figur 415.

bestimmten Zeit erfolgen muß. Auch läßt dieses Verfahren im Gegensatz zu den ersteren, die man deshalb auch als „offene" bezeichnet, eine Beurteilung während der Bestrahlung nicht zu, sondern ergibt nur das Endresultat. Aber auch die nach einem dieser Verfahren ausgeführten Messungen der Roentgenstrahlenmengen sind nicht vollkommen, weil bei denselben die Härte der Röhren mehr oder weniger unberücksichtigt bleibt.



Figur 416.

Im Gegensatz zu den bisherigen Apparaten verwendet Dr. L. Freund in Wien im Anschluß an die Versuche von Hardy und Wilcox zweiprozentige Lösungen von Jodoform in Chloroform als Reaktionsflüssigkeit. Diese Lösungen nehmen bei Roentgenbestrahlung dunkelrot-violette Färbungen an, die leichter und genauer durch Vergleich mit Vergleichslösungen die Bestrahlung zu messen gestatten als die festen Salze.

Endlich sei hier noch das Fällungsradiometer von Gottwald Schwarz (Fig. 416) erwähnt, das auf der Zersetzung einer Ammoniumoxalat-Sublimatlösung unter der Einwirkung von Roentgenstrahlen beruht. Es bildet sich in einer solchen Lösung unlösliches Kalomel und Kohlensäure. Die Menge des ausgefällten Kalomels (Trübung) ist daher ein chemisches Maß für die Roentgenstrahlenmenge.

Der von R. Sommer in Wien in den Handel gebrachte Apparat enthält sechs Prüfzellen zur Aufnahme der Reagenzlösung (Kalomelogen), ferner einen Prüfzellenträger zur Befestigung der Prüfzelle an der Roentgenröhre während der Bestrahlung und endlich vier Teströhren mit Vergleichsflüssigkeiten verschieden starker Trübung.

Vergleichstabelle der gebräuchlichen Einheiten für Roentgenstrahlenmengen:

X-Einheiten nach Kienböck	3	6	8	10	12	14—16	20—24	28	40—44
i-Einheiten nach Bordier	1	1,8	2,7	3,6	4,7	5,8	8	10	15
Kalomel nach Schwarz	1	2	—	3,5	—	—	—	—	—

4. Methoden zur Messung der Roentgenstrahlenenergie bezw. -leistung.

Die zuverlässigsten Anhaltspunkte für Dosierungszwecke würde man offenbar durch eine Messung der von dem bestrahlten Körper verschluckten Roentgenstrahlenenergie erhalten. Es sind bereits zahlreiche Vorschläge gemacht worden, um die von der Röhre ausgestrahlte Roentgenstrahlenenergie zu messen. Man kann auch hier wieder indirekte und direkte Methoden unterscheiden. Zur ersteren gehören z. B. die Vorschläge, die Erwärmung der Röhre oder der Antikathode derselben zugrunde zu legen. Man hat auch versucht, durch Multiplikation der Betriebsstromstärke und Spannung ein diesbezügliches Maß (Kilovolt-Milliampère) zu schaffen (vergl. auch Kromeyer, Deutsche Medizinische Wochenschrift 1908, Heft 2).

Bei Dosierungen wäre dann der so erhaltene Korrektionswert noch mit der Zeit zu multiplizieren und eventuell ein Faktor für die Absorptionsfähigkeit einzufügen.

Jaubert de Beaujeu hat Versuche in dieser Richtung mit dem Sklerometer von Klingelfuß und einem Gleichstrom-Milliampèremeter angestellt. Er fand, daß für eine bestimmte Wirkung das Produkt Kilovolt-Milliampèreminuten stets konstant war. Die Bestimmung der Wirkung erfolgte durch die zuerst von Benoist und Hurmuzescu[1]) beschriebene, später von Jaubert de Beaujeu[2]) abgeänderte elektrometrische Methode,

[1]) Comptes rendus de l'Academie des Sciences 1896.

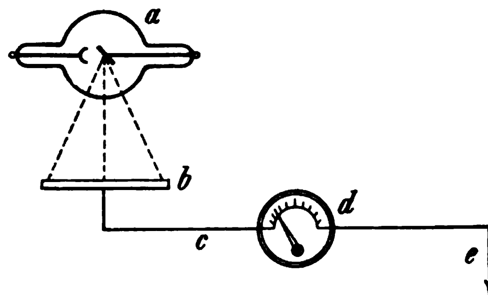
[2]) Annales d'électrobiologie et radiologie 1909, Nr. 11.

die schon zu den direkten Methoden zählt, welche auf der Messung der durch die Strahlung hervorgerufenen Ionisation beruhen.

Im folgenden sind die bei einigen Versuchen gefundenen Zahlen wiedergegeben:

	E Sklerometerteile	I Milliampère	T Sekunden	K Effekt
Beispiel I	60	0,4	10	240
	108	1,7	1,4	257
	63	0,4	9,2	231
	130	2,5	0,8	260
	90	1	2,8	252
	58	0,35	12	243
	140	3	0,6	252
	98	0,4	2,6	229
	72	0,2	18	258
	73	0,4	8,6	251
			Durchschnitt	247
Beispiel II				
	70	0,3	10	210
	123	1,7	1	209
Beispiel III				
	53	0,5	23	662
	70	0,8	11,6	655
	110	2,8	2,2	677
			Durchschnitt	667

Anzuführen ist hier weiter ein von Villard ausgeführter Apparat, der ebenfalls auf der ionisierenden Wirkung der Roentgenstrahlen beruht, der aber gleichzeitig auch die Zeit als Faktor berücksichtigt, indem er den durch Ladung der Plattenelektrode zum Ausschlag gebrachten Elektrometerzeiger durch Entladung der Plattenelektrode bei einem bestimmten Potential wieder auf den Nullpunkt zurückführt und die Anzahl der Entladungen mittels Uhrwerks registriert.



Figur 417.

Der Vollständigkeit wegen sei endlich noch das unvollendete Beez'sche

Energiemeter*) (Figur 417) erwähnt, bei dem die infolge der Ionisation der Luft eintretende Ladung einer in den Strahlenbereich angeordneten Sonde gegenüber der Erde mittels statischen Elektrometers zur Messung herangezogen wird.

5. Messung der Schärfe des Brennpunktes einer Roentgenröhre.

Im Anschluß an die beschriebenen Meßmethoden sei noch eines Apparates zur Messung der Schärfe des Brennpunktes einer Roentgenröhre gedacht, der von Walter angegeben wurde (Fig. 418) und unter dem Namen Fokometer von Richard Seifert & Co., Hamburg, in den Handel gebracht wird.**)

In eine in Holz eingelegte Bleischeibe ist ein viereckiges Loch eingeschnitten. Quer über dieses Loch sind in gleichmäßigem Abstand 6 parallele Drähte von verschiedener, aber gleicher Dicke für alle Instrumente nebeneinander aufgespannt. Auf einer Seite der Scheibe ist ferner ein 10 cm langes Rohr aus Pappe und auf der anderen Seite ein etwa 25 cm langes Messingrohr aufgesetzt und schließlich an dem äußersten Ende des Messingrohres, genau 20 cm von den Drähten entfernt, ein Baryumplatincyanürschirm mit Bleiglas dahinter befestigt. Setzt man nun das Papprohr unmittelbar auf die Glaskugel der zu messenden Roentgenröhre auf, so gibt die Zahl der Drähte, welche man auf dem Leuchtschirm erkennen kann, direkt die Fokusnummer der Röhre an.



Figur 418.

Siebzehntes Kapitel.

Ueber die Verbindung von Induktor und Röhre.

1. Hochspannungs-Zuleitungen.

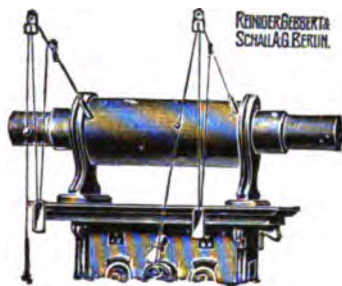
Die Verbindungsleitungen zwischen Induktor und Röhre sollen so kurz als irgend möglich gewählt werden, um Störungen, welche einerseits durch Eigenschwingungen der Hochspannungsleitungen, anderseits durch Ausstrahlungen oder gar Funkenentladungen hervorgerufen werden können,

*) D. R.-P. vom 20. 4. 1911 ab.

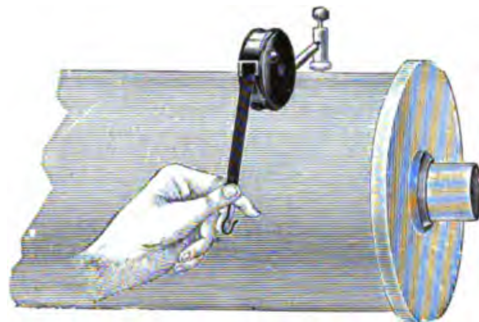
**) Vergl. Fortschritte auf dem Gebiete der Roentgenstrahlen, 3. Jahrg., S. 119.

zu vermeiden. Aus letzterem Grunde ist auch sorgfältig darauf zu achten, daß die Leitungen Metallteilen, besonders wenn letztere geerdet sind, oder auch den Zimmerwänden nicht zu nahe kommen.

Am vorteilhaftesten sind dick mit Kautschuk umpreßte, biegsame Litzenleitungen, die so geführt werden müssen, daß weder ein Ueberspringen von Funken zwischen diesen, noch insbesondere wegen der Gefahr des Durchbrechens der Röhrenwandung von diesen nach der Röhre stattfinden kann.

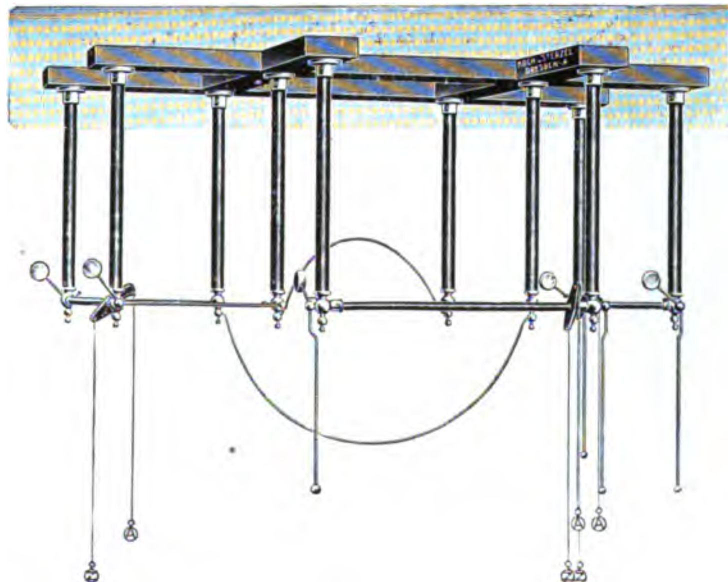


Figur 419.



Figur 420.

Figur 419 zeigt eine zweckmäßige, auf den Induktor aufzumontierende Vorrichtung der Reiniger, Gebbert & Schall A.-G., bei der die Schnüre von den Induktorklemmen über eine kleine Rolle geführt und durch ein Gewicht gespannt gehalten werden; sie verkürzen und verlängern



Figur 421.

sich auf diese Weise bei der Verstellung der Roentgenröhre selbsttätig, bleiben aber stets in genügender Entfernung.

Recht gut hat sich auch die durch große Einfachheit auszeichnende Beez'sche Anordnung (Figur 420) bewährt.

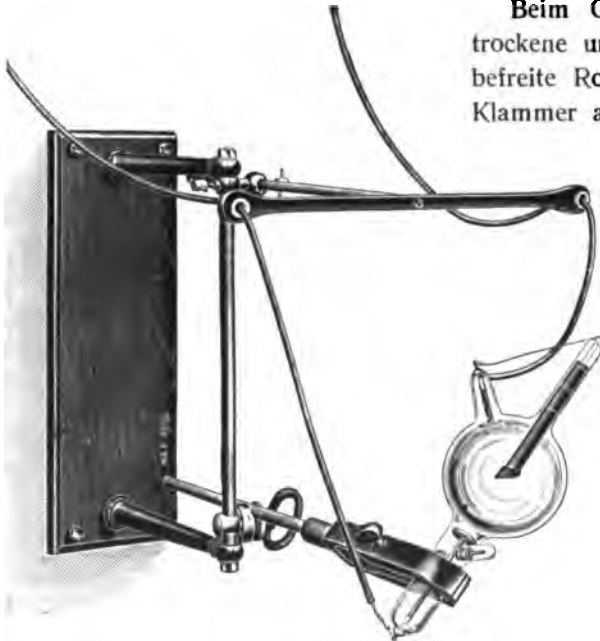
In einem kleinen mit einem Ansatzstift verbundenen runden Metallgehäuse ist auf einer Trommel ein Metallgeflechtband aufgerollt, das durch eine Feder in das Gehäuse hineingezogen wird, ähnlich wie bei den bekannten Meßbändern.

In manchen Fällen, besonders bei größeren Roentgen-Anlagen, ist es erforderlich, den Hochspannungsstrom abwechselnd mehreren Verbrauchsstellen (z.B. dem feststehenden Durchleuchtungsstativ, dem Orthodiagraphen und der Kompressionsblende) zuzuführen. Um hierbei das lästige und auch zeitraubende Wechseln der Drähte mit der jeweilig zu benutzenden Röhre zu vermeiden, wendet man sogenannte Hochspannungs-Umschalter an, die an der Decke des Zimmers angebracht werden und die durch Zug an einer Schnur oder dergl. die jeweils gewünschte Verbindung herzustellen gestatten.

Figur 421 zeigt einen derartigen Umschalter von Koch & Sterzel, Dresden, für 3 Verbrauchsstellen.

2. Einfache Stative für Roentgenröhren.

Beim Gebrauch faßt man die trockene und von Staub sorgfältig befreite Roentgenröhre mit einer Klammer aus Holz oder anderem nichtleitenden Material an dem zylindrischen Teile derselben und verbindet die Elektroden in der bereits erörterten Weise mit dem Induktor Die Klammern selbst müssen durch ein Stativ gehalten werden, das so eingerichtet sein soll, daß man die Röhre in jede gewünschte Lage bringen kann.



Figur 424.

Man kann Bodenstative und Wandstative unterscheiden, erstere sind jedenfalls bequemer und allgemeiner anwendbar.



Figur 422.



Figur 423.

Fig. 422 zeigt ein Bodenstativ der Reiniger, Gebbert & Schall A.-G., Erlangen, die Figur 423 ein ähnliches Stativ von Dr. Max Levy in Berlin, Figur 424 ein Wandstativ der Max Kohl A.-G., Chemnitz i. S., wie es bei beschränktem Raume zur Anwendung gelangt.

Achtzehntes Kapitel.

Blenden-Vorrichtungen.

1. Allgemeines.

Auf den Zweck und Nutzen der Blenden im allgemeinen ist bereits in der Einleitung (s. S. 236) kurz hingewiesen worden. Sie dienen danach einerseits zur Herabsetzung der durch Sekundärstrahlen (Glas- und Körperstrahlen) hervorgerufenen Störungen, andererseits zur Abblendung der Roentgenstrahlen auf den jeweils erforderlichen Strahlenquerschnitt. Ihre Anwendung ist aus diesen Gründen sowohl bei Durchleuchtungen (Roentgenoskopie) als auch photographischen Aufnahmen zur Erzielung strukturscharfer und kontrastreicher Bilder fast unerläßlich. Aber auch bei der Roentgenstrahlentherapie und als Schutzvorrichtungen spielen sie eine große Rolle, um eine Mitbestrahlung gesunder bezw. Mehrfachbestrahlung kranker Gewebe mit Sicherheit zu verhüten, bezw. Arzt und Patienten vor Roentgenstrahlen-Schädigungen zu bewahren. Diese außerordentlich große und alle Anwendungsgebiete umfassende Bedeutung der Blenden, die im Anfange der Roentgenstrahlentechnik allerdings nicht genügend erkannt und beachtet worden zu sein scheint, hat im Laufe der letzten Jahre überaus zahlreiche, von den einfachsten bis zu den allerkompliziertesten Konstruktionen und Modifikationen gezeitigt. Man hat also das anfangs Versäumte gründlich nachgeholt, so daß heute wohl keine der anderen zahlreichen Hilfsapparate dieses Gebietes in so verschiedenen Ausführungsformen im Handel sind als die Blenden-Vorrichtungen; man kann geradezu von einer speziellen Blendentechnik sprechen.

Im folgenden kann daher nur eine Uebersicht über die hauptsächlichsten und verbreitetsten diesbezüglichen Konstruktionen gegeben werden, da eine ausführlichere Darstellung den zur Verfügung stehenden Raum bei weitem überschreiten würde.

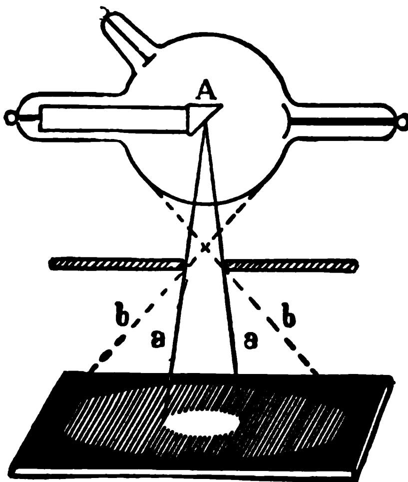
2. Einfachere Blenden.

a) Einfache Blenden aus Bleiblech.

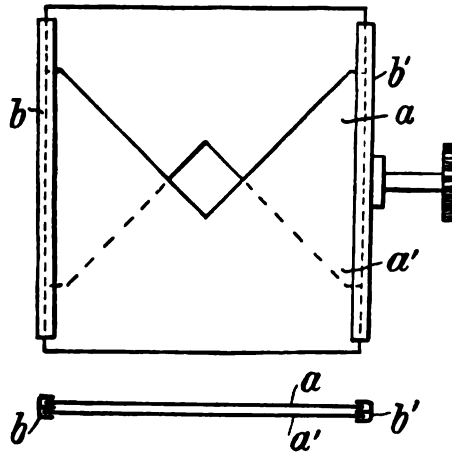
Die einfachste Blende besteht aus einem dicken, mit einem Loch in seiner Mitte versehenen Bleiblech, welches zwischen Röhre und Schirm bezw. Platte angeordnet wird (Fig. 425). Das Loch muß natürlich einen so großen Durchmesser bezw. Querschnitt haben, daß ein genügend großes Bildfeld erzeugt wird. Letzteres wird man stets so klein als irgend möglich wählen, um einerseits einen möglichst großen Teil der Sekundärstrahlen

abzufangen, anderseits das Auftreten von Körperstrahlen nach Möglichkeit zu unterdrücken.

Da aber die Größe des Bildfeldes von Fall zu Fall verschieden ist, so ist es zweckmäßig, den Durchmesser bezw. Querschnitt der Lochöffnung innerhalb gewisser Grenzen beliebig verändern zu können. Diese Veränderlichkeit der Blendenöffnung kann auf verschiedene Weise realisiert werden; die verbreitetsten Konstruktionen sind: a) Steckblende, b) Rota-



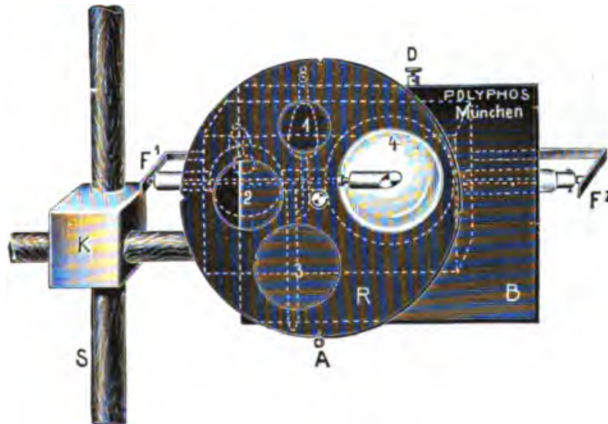
Figur 425.



Figur 426.



Figur 427.



Figur 428.

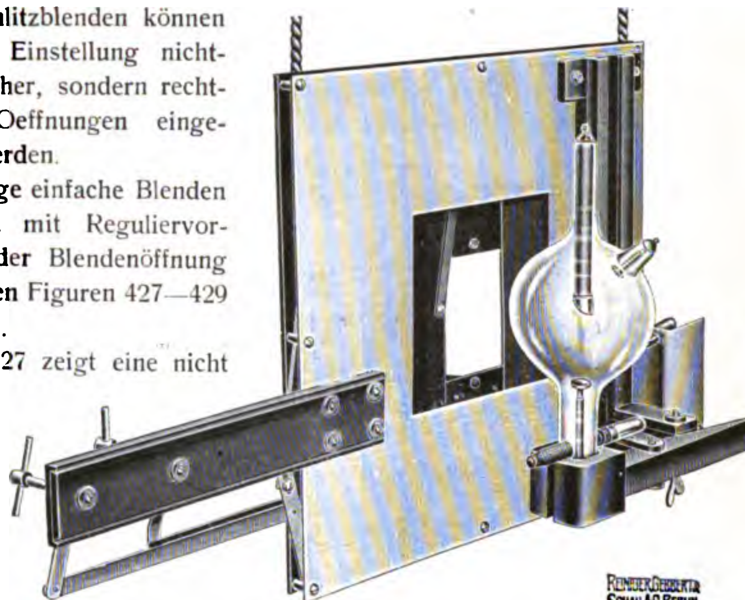
tionsblende (analog der photographischen Blende eingerichtet, c) Irisblende, d) Doppelschlitzblende, die aus zwei verstellbaren, kreuzweise angeordneten Schlitzen gebildet wird; e) Doppelwinkelblende (vergl. schematische Darstellung, Figur 426).

Die Einstellung dieser variablen Blenden erfolgt mittels Kordelschraube, Hebels oder Schere im allgemeinen derart, daß der Mittelpunkt der Oeffnung stets der gleiche bleibt (zentrale Verstellung).

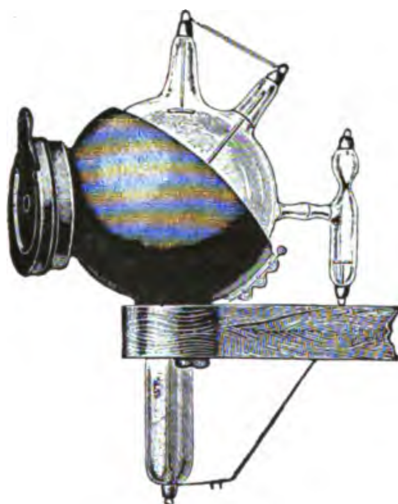
Die Schlitzblenden können auch zur Einstellung nichtquadratischer, sondern rechteckiger Oeffnungen eingerichtet werden.

Derartige einfache Blenden ohne und mit Reguliervorrichtung der Blendenöffnung sind in den Figuren 427—429 abgebildet.

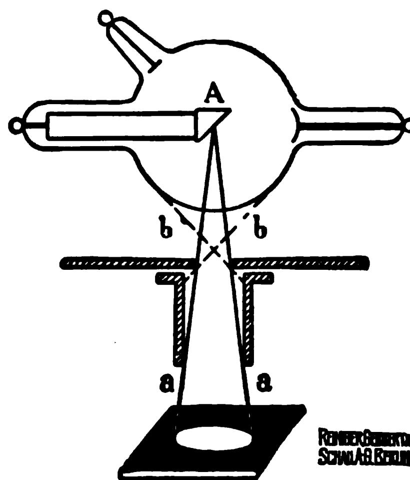
Figur 427 zeigt eine nicht



Figur 429.



Figur 430.



Figur 431.

regulierbare, direkt auf die Röhre montierbare Blende der Firma Koch & Sterzel, Dresden. Fig. 428 gibt eine Rotationsblende der Polyphos-

Elektrizitätsgesellschaft wieder, die an dem Röhrenstativ befestigt wird. Figur 429 endlich stellt die Hängeblende nach Holzknecht und Kienböck dar, wie sie von der Reiniger, Gebbert & Schall A.-G. in den Handel gebracht wird. Dieselbe besteht aus einer an Schnüren, die über an der Zimmerdecke befestigte Rollen laufen, hängenden Metallplatte mit während der Durchleuchtung vom Beobachter aus zentral verstellbarer Doppelschlitz-Diaphragmablende.

b) Halbkugelblenden.

Eine Abart der beschriebenen einfachen Blenden sind die Halbkugelblenden, die aus einem für Roentgenstrahlen undurchlässigen Material (Bleigummi, Bleiglas oder dergl.) bestehen und die Röhre auf der fluoreszierenden Hälfte halbkugelförmig umgeben. Die Variation des Strahlenquerschnitts kann in genau gleicher Weise wie bei den einfachen Blenden erfolgen durch eine Vorrichtung, die an dem Austrittsöffnungsansatz der undurchlässigen Halbkugel angeordnet ist.

In Figur 430 ist eine derartige Bleigummi-Steckblende der Firma Koch & Sterzel, Dresden, abgebildet. Aehnliche Blenden liefert auch die Siemens & Halske A.-G., Nonnendamm-Berlin.



Figur 432.

c) Blendenröhren.

Anschließend hieran muß an dieser Stelle nochmals auf die oben ausführlich beschriebene Bauersche Blendenröhre (s. S. 256) hingewiesen

werden, die gewissermaßen eine weitere Fortbildung der Halbkugelblenden bildet, insofern sie eine Kombination von Röhre und Vollkugelblende darstellt.

d) Rohrblenden.

Eine entschiedene Vervollkommnung der einfachen ebenen Blenden stellen die Metall- oder Bleiglas-Rohrblenden dar. Wie die schematische Figur 431 zeigt, wird nämlich dann auch der größte Teil der vorher noch in schräger Richtung durch die Steckblende gegangenen Glas-Sekundärstrahlen von den Rohrwänden absorbiert, wodurch die schädlichen Wirkungen dieser Strahlen auf ein Mindestmaß zurückgeführt werden.

Die Anordnung muß natürlich auch hier so getroffen werden, daß man auch verschiedene große Bildfelder einstellen kann. Dies geschieht durch Anwendung von Röhren verschiedenen Durchmessers, die leicht gegeneinander ausgewechselt werden können.

Figur 432 zeigt eine derartige von der Firma Emil Gundelach in Gehlberg hergestellte und hauptsächlich bei Bestrahlungen sehr verbreitete Bleiglas-Halbkugelröhrenblende, deren Armatur mittels Riemen an der Roentgenröhre befestigt wird. Die leicht auswechselbaren Tuben bestehen ebenfalls aus Bleiglas.

3. Doppelröhrenblende.

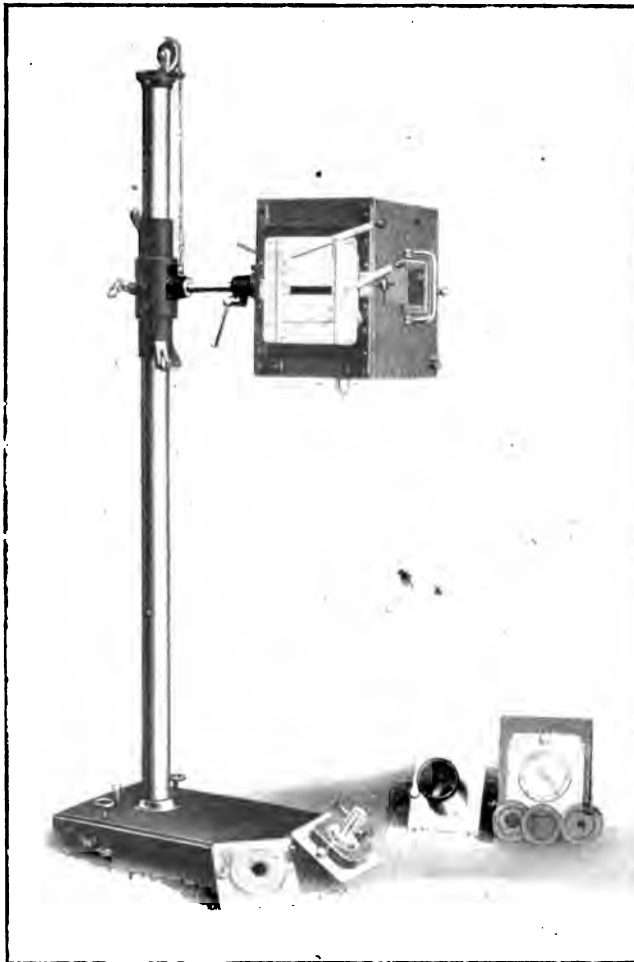
Ehe wir die Röhrenblenden verlassen, sei noch kurz die Groedel'sche Doppelblende erwähnt, die aus zwei parallelen Tuben besteht, die sich im Abstande der Antikathoden einer sogenannten Stereoröhre (siehe das Kapitel über stereoskopische Fluoreszenzbilder) befinden, zum Zwecke, zu gleicher Zeit zwei korrespondierende Körperteile (z. B. Lungenflügel) durchleuchten und so besser vergleichen zu können.

4. Kastenblenden und Blendenstative.

Sowohl die einfachen als auch die Röhrenblenden werden oft an einem vollständig geschlossenen, mit Bleiblech oder Gummischutzstoff ausgeschlagenen Schutzkasten (auch Bleikiste genannt), in dem die Roentgenröhre Aufnahme findet, angebracht, der jedes störende Fluoreszenzlicht und alle nicht ausgenutzten Roentgenstrahlen vollständig abblendet. Zur Beobachtung der Röhre dient meist ein Bleiglasfenster, welches aber gewöhnlich durch einen lichtdichten Schieber verschlossen ist.

Durch Kombination von Bleikistenblende und Röhrenstativ entstehen die sogenannten Blendenstative, die im allgemeinen so eingerichtet sind,

daß sie sowohl für vertikale als auch horizontale Einstellung der Röhre geeignet sind. Einen einfachen Apparat dieser Art der Siemens & Halske A.-G. zeigt Figur 433. Der Aufnahmekasten ist durch ein im Innern der vertikalen Säule befindliches Gewicht ausbalanciert. Aehnlich

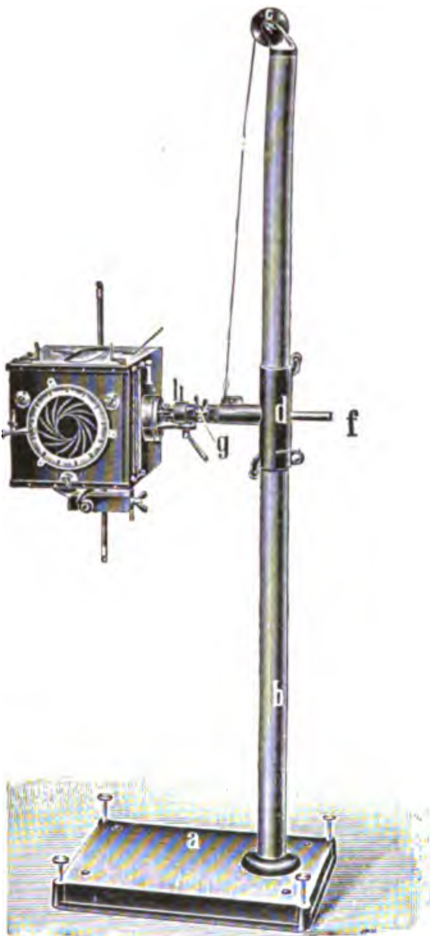


Figur 433.

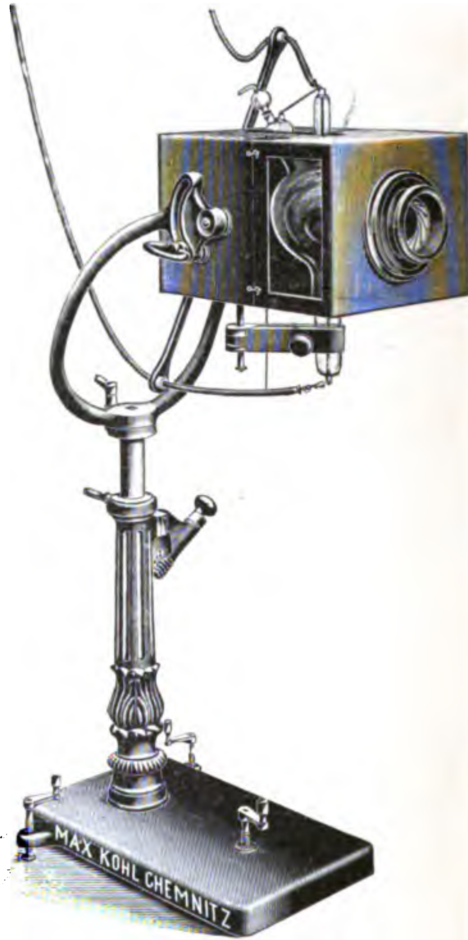
konstruiert ist das mit Irisblenden-Regulierung ausgerüstete Blendenstativ der Elektrizitäts-Gesellschaft Sanitas (Figur 434).

Figur 435 endlich zeigt eine etwas kompliziertere Ausführungsform der Max Kohl A.-G. Der Schutzkasten ist hierbei an einer um eine vertikale Achse drehbaren Gabel aufgehängt, so daß er um etwas mehr als

$^1/_4$ Umdrehung gedreht werden kann; er läßt sich in jeder Zwischenstellung feststellen. Außerdem ist das Stativ mittels Kurbel und Schnecke hoch und tief verstellbar und auf Rollen fahrbar.



Figur 434.



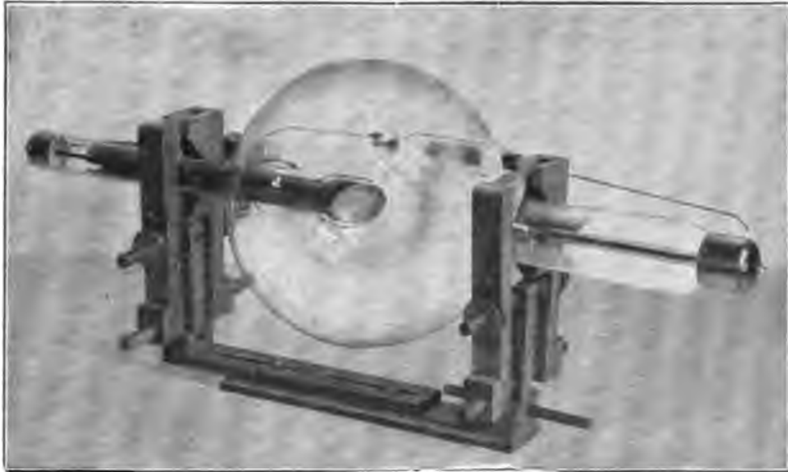
Figur 435.

5. Selbstzentrierende Röhrenhalter und Zentriervorrichtungen.

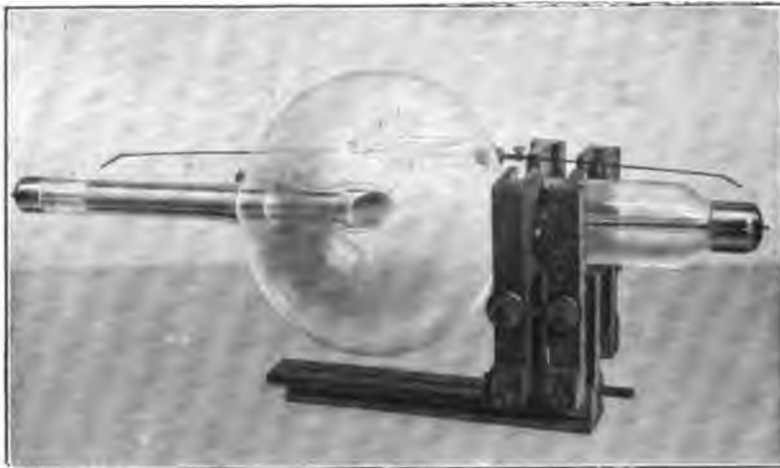
Sowohl für die vorstehend beschriebenen Bleikistenblenden und Blendenstative als auch für die weiter unten zu beschreibenden Kompressionsblenden und Untersuchungsapparate bedient man sich mit Vorteil sogenannter selbstzentrierender Röhrenhalter.

Die Figuren 436 und 437 zeigen einen derartigen Halter nach Groedel, wie er von der Reiniger, Gebbert & Schall A.-G., Erlangen, in den

Handel gebracht wird. Er besteht im wesentlichen aus einer Doppelklammer von eigenartiger Form. Die beiden Klammern stehen gegenüber und besitzen Ausschnitte, deren Form und Größe derartig ist, daß der



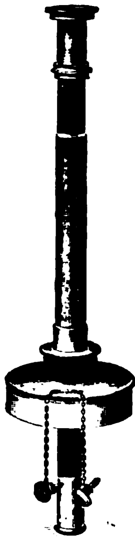
Figur 436



Figur 437.

Antikathodenspiegel einer jeden Röhre in stets genau gleicher Entfernung von dem verstellbaren Verbindungsstück der Klammern gehalten wird. Für geringere Belastung wird die Röhre zweiseitig eingespannt (Figur 436).

Bei harten Röhren, wo die Gefahr besteht, daß der Funke das Holz des Halters als Ausgleich benutzt und dadurch die Röhren zerstört werden können, spannt man den einen Teil des Halters um, und faßt die Röhre nur am Kathodenhals. Einmal eingespannt und zentriert, verbleibt die Röhre dauernd in dem Halter, zum Gebrauche wird der Halter mit Roentgenröhre in die im Roentgenkasten fest angebrachte Führungsleiste eingeschoben und fixiert. Beim erstmaligen Gebrauche ist der Röhrenhalter in der Führungsleiste so einzustellen, daß sich der Brennpunkt der Röhre genau über dem Mittelpunkt der Blendenöffnung befindet, was mit Hilfe einer besonderen Zentriervorrichtung kontrolliert wird, worauf durch Verschieben eines Holzstäbchens bis zu einem Anschlag diese richtige Stellung des Röhrenhalters fixiert wird. Bei Röhrenwechsel ist dann der Halter immer in die Führungsleisten einzuschieben, bis das Stäbchen gegen seinen Anschlag stößt.



Figur 438.



Figur 439.

Die einfachste Zentrier-Vorrichtung besteht aus einem teleskopartig ausziehbaren Rohr mit einem Fluoreszenzschirm, auf dem man sieht, je nachdem die Fläche ganz oder nur halbmondförmig beleuchtet ist, ob die Mitte der Röhre richtig gegen den Körper steht. (Fig. 438.)

Figur 439 zeigt ein ähnlichen Zwecken dienendes Zentrierbord nach Albers-Schönberg. An dem für die Anbringung desselben vorgesehenen Platze markiert man eine Senkrechte. Das Bord wird nun so befestigt, daß die durch das Rundteil gehende Gerade sich mit der markierten Senkrechten trifft. Nunmehr setzt man das Aufsatzbrett mit der Röhre auf das Bord und visiert vor demselben stehend so, daß das unter dem Bord hängende Lot sich genau mit der markierten Senkrechten deckt. Dann muß die oberhalb des Brettes markierte Senkrechte scheinbar durch die Mitte der Antikathode gehen. Sollte dies nicht der Fall sein, so ist dementsprechend die Röhre etwas zu verschieben, bis der Schnittpunkt auf der Mitte der Antikathode liegt, wodurch dann die Röhre zentriert ist.

6. Pyramidenblende.

Eine seltenere, weniger verbreitete Form der Blenden ist die sogenannte Pyramidenblende, die speziell für Fernaufnahmen nach Albers-Schönberg dient. Das Wesen derartiger Durchleuchtungen besteht darin, daß man die Röhre in ziemlich großer Entfernung (etwa 2 m) vom Patienten anordnet und in bezug auf die angewendete Blende so zentriert, daß der Antikathodenbrennfleck in der Achse der Blende liegt. Die durchstrahlten Organe erscheinen dann in fast wirklicher Größe. Die hierfür zur Anwendung



Figur 440.

gelangende Blende besteht aus einer abgestumpften 4 seitigen, aus Metallblech gebildeten Pyramide mit beiderseits offenen Grundflächen. Figur 440 zeigt eine von Max Kohl, A.-G., Chemnitz i. S., hergestellte derartige Blende. An der kleineren Grundfläche ist ein zylindrischer Ansatz zum Anlegen an den Schutzkasten angebracht, während der Patient sich gegen die größere Grundfläche anlegt. Die Höhe der Blende kann durch Drehen an einer am Stativ der Blende angebrachten Kurbel nach Belieben geändert werden.

7. Kompressions- und Blenden-Einrichtungen.

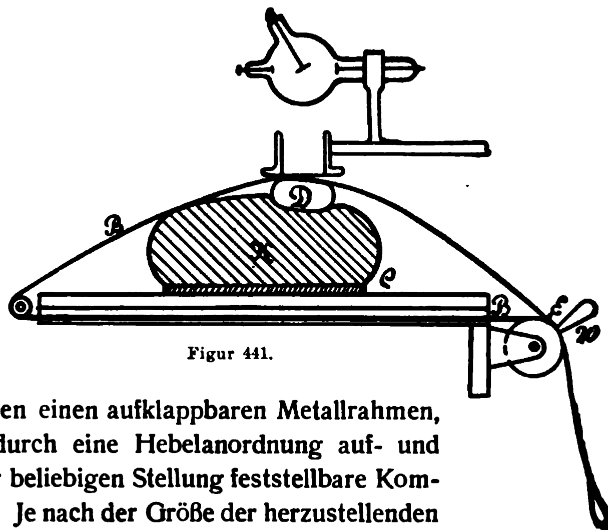
In besonders schwierigen Fällen, z. B. bei Untersuchung auf Nieren- und Gallensteine, deren Gelingen bei den früheren Verfahren meist von der Größe und dem spezifischen Gewicht der Steine abhing, weil Steine

von nur mäßigem Umfang und geringer Dichte sich auf der photographischen Platte nicht oder kaum ausprägen, haben sich die Kompressions-Vorrichtungen vorzüglich bewährt. Durch eine derartige Vorrichtung wird nämlich das Fettpolster zur Seite gedrückt, so daß einerseits der schädigende Einfluß der im wesentlichen in den Fettschichten des menschlichen Körpers hervorgerufenen Körper-Sekundärstrahlen auf die Bildschärfe herabgesetzt, andererseits gleichzeitig der Querschnitt des aufzunehmenden Körperteils verringert, sowie endlich eine sichere und ruhige Lagerung des Patienten erzielt wird, so daß Bewegungen während der Exposition völlig ausgeschlossen sind. Die einfachste Anordnung dieser Art ist das Gurt-Kompressorium der Reiniger, Gebbert & Schall A.-G., welches in Figur 441 schematisch dargestellt ist. Das elastische Band *B* läuft über den Körper des Patienten, unter dem sich die Kassette *C* befindet; bei *E* ist es über die Spannvorrichtung gezogen, so daß beim Abwärtsdrücken des Hebels *W* eine allmähliche Spannung und damit eine Kompression des betreffenden Körperteils zustande kommt. Um eine lokale Kompression zu erzielen, wird ein Gummiballon *D* (oder ein Luffaschwamm) angewendet, der an der zu komprimierenden Stelle unter das Band gelegt wird.

Im allgemeinen werden derartige Kompressions-Vorrichtungen in Kombination mit einer getrennten Blenden-Anordnung benutzt, welche, wie wir oben gesehen haben, die Röhren-Sekundärstrahlung zur Absorption bringt.

Man hat aber auch Kompressions- und Blende-Einrichtung zu einem einzigen Apparat vereinigt, der alle Vorteile der Blenden- und Kompressionstechnik aufweist. Der erste Apparat dieser Art war die Albers-Schönberg'sche Kompressionsblende.

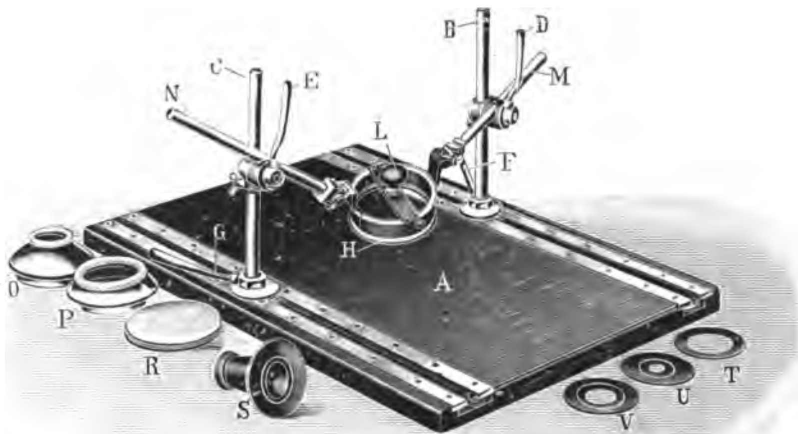
Dieselbe besteht in ihrer neuesten Ausführung (vergl. Figur 443) im wesentlichen aus einem Grundbrett mit drei säulenartigen Füßen. Letztere tragen einen aufklappbaren Metallrahmen, der das eigentliche, durch eine Hebelanordnung auf- und abschiebbare, in jeder beliebigen Stellung feststellbare Kompressionsrohr enthält. Je nach der Größe der herzustellenden Bilder werden hierfür Zylinderröhren von 10—14 cm Durchmesser verwendet.



Figur 441.

Das Röhrenstativ bildet einen Teil des Gesamtapparates; es besteht im wesentlichen aus einem Holzbrett, dessen Unterseite mit Blei beschlagen ist. In der Mitte befindet sich ein kreisförmiger Ausschnitt solcher Weite, daß er auf die Ansatzstücke der Zylinder genau paßt. Auf dieses Loch können außerdem Bleiblechblenden von verschiedenen Durchmessern gelegt werden. Die Roentgenröhre wird nun ein für allemal so über dem Blendendiaphragma zentriert, daß der Röhrenfokus senkrecht über dem Zentrum des letzteren liegt. In diesem Falle deckt sich die Zylinderlängsachse mit der Lichtachse.

Die Untersuchung mit diesem Apparat erfolgt nun so, daß man den Rahmen in die Höhe klappt, in die Versenkung des Brettes die Kassette mit der photographischen Platte legt, den Patienten mit dem Rücken auf die Kassette lagert und nach genauer Einstellung des Apparates das aufgesetzte Rohr durch langsame Kurbeldrehung dem Patienten auf den Leib preßt und dies fortsetzt, so lange sich bei ihm kein größeres Unbehagen bemerkbar macht.

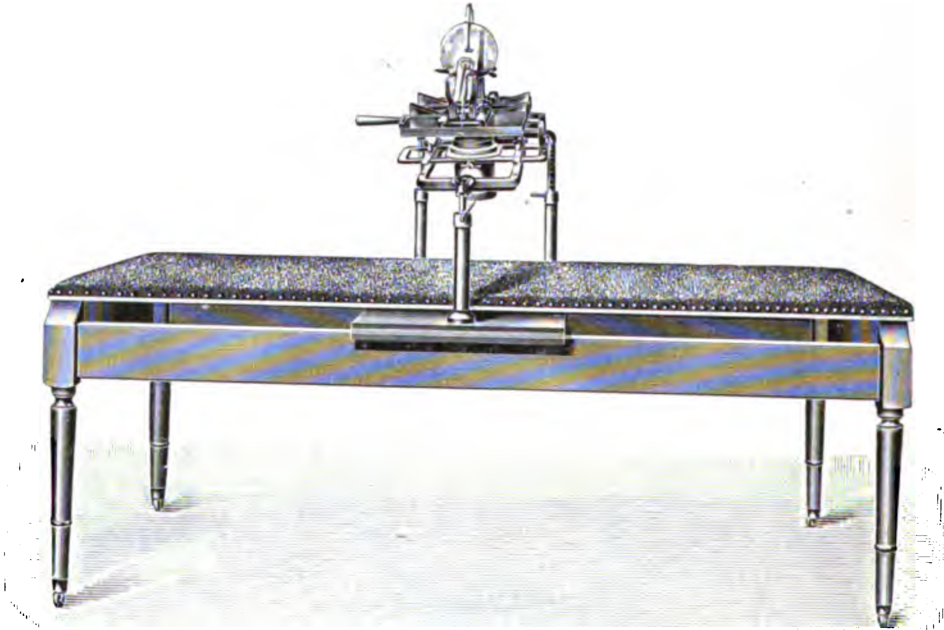


Figur 442.

Eine andere Kompressionsblende nach Dr. Rosenthal, die von der Polyphos-Elektrizitätsgesellschaft in den Handel gebracht wird, ist in Figur 442 abgebildet. Sie zeichnet sich dadurch aus, daß das Kompressionsorgan völlig frei beweglich ist. Außerdem ist der Kompressionstubus zur Verhinderung ungenügender Weichteil-Kompression mit einem Pergament-Diaphragma versehen. Die Roentgenröhre befindet sich in einem zylinderförmigen Blendenkasten, der mit Bleigummi ausgeschlagen ist und infolgedessen keine schädigenden Strahlen nach außen kommen läßt.

8. Kompressions-Blendentische.

Zum Schluß dieses Abschnittes sei noch der in Verbindung mit der Albers-Schönberg'schen Kompressionsblende vielfach angewandte



Figur 443.

Kompressionsblendentisch erwähnt, der eine bequeme Verschiebung der Kompressionsblende in der Längsachse des Patienten gestattet (Figur 443).

Neunzehntes Kapitel.

Roentgenoskopie.

1. Fluoreszenzschirme.

Bei der Radioskopie wird der zu durchleuchtende Gegenstand zwischen die Roentgenröhre und einen Fluoreszenzschirm gebracht. Derselbe besteht aus einem über einen Holzrahmen gespannten Kartonpapierbogen, der mit einer Schicht Baryumplatincyanür bedeckt ist. Die unserem Auge unsichtbaren Roentgenstrahlen verwandeln sich beim Auftreffen auf diesen

Schirm in von unserem Auge wahrnehmbare Lichtstrahlen. Man bringt den zu durchleuchtenden Gegenstand oder Körperteil eventl. unter Zwischenschaltung einer der früher beschriebenen Blenden in einer Entfernung von 10 bis 15 cm an die Röhre und hält den Schirm, mit der fluoreszierenden Schicht nach dem Beobachter hin, dicht an den Körper heran. An den von den Roentgenstrahlen getroffenen Stellen leuchtet der Schirm hell auf, Fleischteile markieren sich nur wenig, Knochen erscheinen, je nach ihrer Dicke, mehr oder weniger dunkel; doch kann man die Tätigkeit des Herzens, die Auf- und Niederbewegung des Zwerchfelles beim Atmen noch recht gut erkennen. Natürlich muß solche Beobachtung in einem absolut dunklen Raume vorgenommen werden, da das Auge von etwa vorhandenem Tages- oder künstlichen Licht viel zu sehr geblendet wird, um die verhältnismäßig schwachen Fluoreszenzlichter wahrzunehmen.

Um ein Verbrennen der Fingernägel und Hände des Beobachters zu verhüten, werden die Leuchtschirme neuerdings mit Schutzvorrichtungen versehen. Dieselben bestehen z. B. nach dem Vorschlage von Dr. Patzelt aus schalenförmigen, mit Griffen versehenen Metallstücken, die an dem Holzrahmen des Leuchtschirmes angeschraubt werden.

Um auch die den Schirm passierenden Strahlen abzufangen, kann man dieselben mit einer Bleiglasplatte bedecken, welche wohl die Fluoreszenzstrahlen, nicht aber die erregenden Roentgenstrahlen passieren läßt. Neuerdings hat Dr. Rupprechts Astral-Durchleuchtungsschirm eine große Verbreitung gefunden, der sowohl größere Fluoreszenzhelligkeit aufweist, als auch schärfere Bilder liefert, so daß sich die Kontraste im Bilde steigern. Von anderen Substanzen, die ähnliche Resultate wie Baryumplatincyanür ergeben, sei hier noch das seltene Mineral Willemit angeführt, das hauptsächlich aus kieselsaurem Zink besteht. Zinkblende und Scheelit (wolframsaurer Kalk) sind für Durchleuchtungsschirme ungeeignet, da dieselben auch nach dem Aufhören der Bestrahlung noch längere Zeit nachleuchten (Phosphoreszenz).

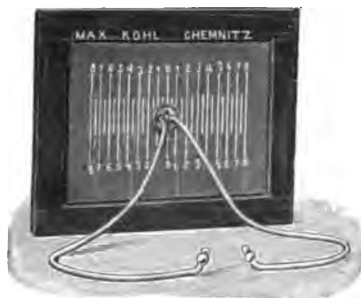


Fig. 444.

Eine Vereinigung von Leuchtschirm und Hörrohr stellt das Phonoskiaskop nach Dr. Schmincke dar, welches von Max Kohl, A.-G., Chemnitz, in den Handel gebracht wird. Es dient zur Durchleuchtung und gleichzeitiger Auskultation des Herzens, so daß man die Herzbewegungen gleichzeitig sehen und hören kann. Die auf dem Leuchtschirm angebrachte Skala dient zur Feststellung der Größe der Herzbewegung (Figur 444).

2. Fluoroskope.

Zu einer provisorischen Untersuchung im unverdunkelten Raume kann man sich der Fluoroskope oder Kryptoskope bedienen. Dieselben bestehen aus einem lichtdichten Gehäuse, dessen Boden durch einen Fluoreszenzschirm gebildet wird. Diesem gegenüber befindet sich eine Oeffnung zum Hineinsehen, deren Ränder sich möglichst dicht an das Gesicht anlegen sollen und deshalb meist mit Pelzwerk bekleidet sind. Fig. 445 zeigt



Fig. 445.



Fig. 446.

ein solches Kryptoskop, Fig. 446 ein ebensolches zum Transport zusammenlegbares.

Wie wir bereits wissen, ist jedes Bild, das von einem Gegenstande auf dem Fluoreszenzschirm entsteht, ein Schattenbild des Gegenstandes auf dem Schirme. Da die Strahlen divergieren, so erscheint das Bild auf dem Schirm stets größer als der Gegenstand selbst ist und zwar die außenliegenden Partien in einem größeren Maßstabe als die in der Mitte, d. h. das Bild ist etwas verzerrt. Es ist deshalb gar nicht leicht, die wirkliche Lage, z. B. einer Gewehrkugel in der Brust, zu bestimmen, auch wenn man die Durchleuchtung in zwei aufeinander senkrecht stehenden Richtungen vornimmt. Leichter ist dies mit einem Apparat für stereoskopische Roentgenbilder auszuführen.

3. Stereoskopische Fluoreszenzbilder.

Die Theorie des stereoskopischen Sehens verlangt, daß die beiden Bilder, welche auf der Netzhaut unserer Augen vom betrachteten Objekt entstehen, unter sich verschieden sind, d. h. zwei Zentralprojektionen von zwei verschiedenen Fluchtpunkten darstellen. Nun können zwar wegen der Unsichtbarkeit der Roentgenstrahlen die geforderten zwei Bilder nicht

wie sonst von unseren Augen selbst erzeugt werden, man kann aber zwei, in einem gewissen horizontalen Abstande befindliche Roentgenröhren abwechselnd aufleuchten lassen und so die erforderlichen zwei differierenden Zentralprojektionen desselben Gegenstandes auf dem Fluoreszenzschirme erzeugen. Man kann ferner durch einen einfachen Mechanismus bewirken, daß jedes Auge nur das eine ihm zugedachte Bild zu sehen bekommt. Erfolgt dann der Wechsel der Bilder sehr schnell, so werden wir, infolge der Trägheit unseres Gesichtssinnes beide Bilder — jedes mit einem Auge — gleichzeitig zu sehen glauben, d. h. wir sehen nur ein Roentgenbild, dieses aber körperlich.



Figur 447.

Einen Apparat dieser Art stellen Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen her, indem sie eine Roentgenröhre mit zwei um Augenabstand voneinander entfernten und metallisch miteinander verbundenen Antikathoden (Figur 447) benutzen und durch eine unter Petroleum rotierende, mit einem Quecksilberstrahl-Unterbrecher zwangsläufig verbundene Kontaktvorrichtung die hochgespannten Ströme eines Induktoriums in der Weise zuführen, daß die Roentgenstrahlen abwechselnd von den beiden Antikathoden ausgehen (Fig. 448). Mittels einer ebenfalls mit dem Unterbrecher gekuppelten Blende wird dann bewirkt, daß jedes Auge des Beobachters nur das von der entsprechenden Antikathode auf dem Schirm erzeugte Schattenbild zu sehen bekommt.

Die Einstellung des Stroboskops muß derartig sein, daß mit dem Aufleuchten des rechten Teils der Antikathode das Gesichtsfeld des linken Auges und mit dem Aufleuchten der linken Antikathode das Feld des rechten Auges vom Beschauer zur Durchsicht frei wird, was durch Verstellen eines Differentialgetriebes am Stroboskop während des Betriebes vorgenommen werden kann.

Diese Umschaltevorrichtung zur direkten stereoskopischen Wahrnehmung von Durchleuchtungen kann auch zur Unterdrückung des Schließungsstromes bei einfachen Roentgenröhren benutzt werden. Man braucht zu diesem Zweck nur die Ableitungsklemmen, die mit den Bürsten der Vorrichtung in Verbindung stehen, durch einen Kupferbügel kurz zu schließen und von diesem aus eine Leitung zur Röhre zu führen.

Im übrigen sind die Verbindungen genau dieselben wie bei der auf Seite 286 u. ff. beschriebenen mechanischen Vorrichtung zur Unterdrückung des Schließungsinduktionsstromes.

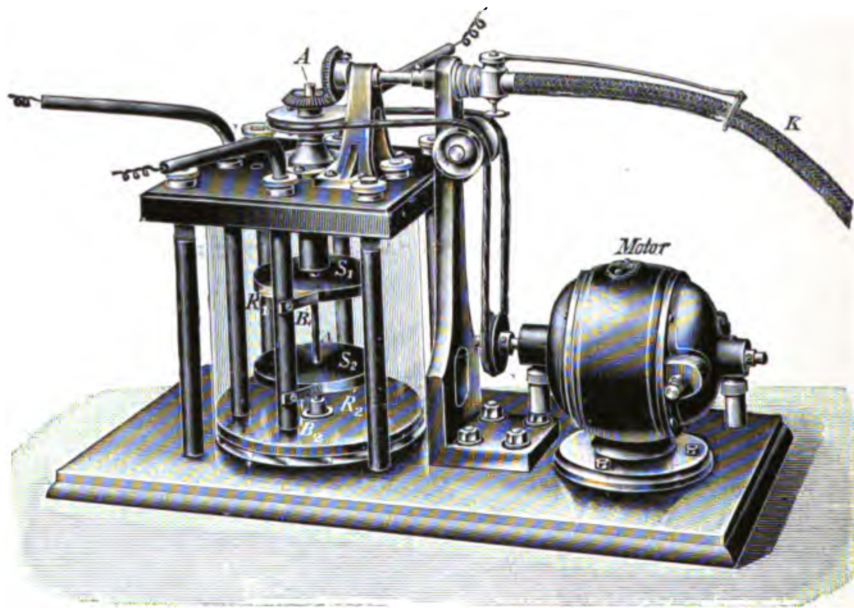


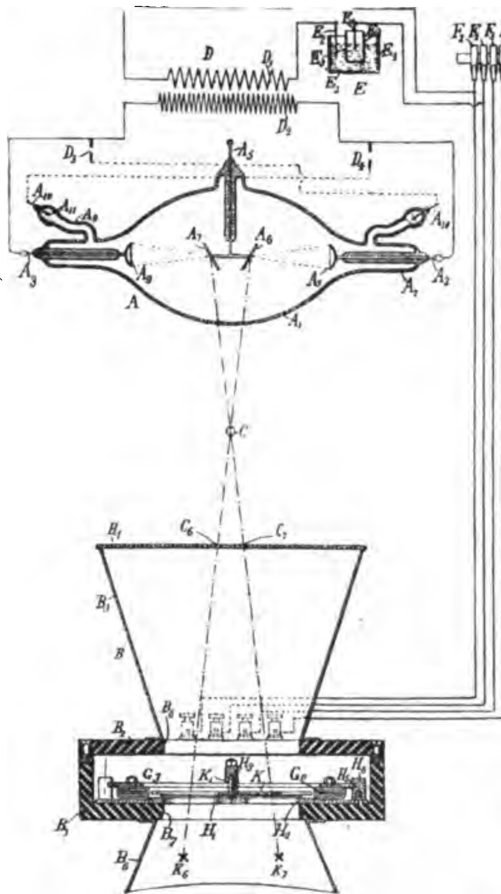
Fig. 448.

Es ist ohne weiteres verständlich, daß jetzt der sekundäre Strom, statt wie bei Verwendung einer Stereoskopröhre abwechselnd durch die eine oder andere Hälfte derselben zu fließen, durch den Kurzschluß des Kupferbügels bei beiden Stromstößen durch die einfache Röhre geht. Der in den Induktor hineingeschickte Effekt wird also in jedem Fall voll ausgenützt.

Aehnlich ist das Caldwell'sche Roentgenstereoskop (Fig. 449), bei welchem ein Loch-Unterbrecher und zum Betriebe Wechselstrom angewendet wird. Die Röhre hat zwei Antikathoden und die Blende wird durch einen kleinen Synchronmotor bewegt, der von derselben Wechselstromquelle wie der Induktor gespeist wird und daher synchron mit den Entladungen in der Röhre den abwechselnden Durchblick gestattet.

Wenn auch infolge der Benutzung von nur einer Röhre die Intensität

beider Bilder ziemlich gleich wird, so ist doch die Haltbarkeit einer solchen Doppelröhre nur eine geringe, weil für die eine Antikathode der Entladungsstrom stets verkehrt gerichtet ist und eine starke Zerstäubung derselben eintreten muß. Besser ist in dieser Hinsicht die Anordnung der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft in Berlin, die für ihren stereoskopischen Roentgenapparat zwei gesonderte Roentgenröhren und zwei Funkeninduktoren anwendet. In Fig. 450 ist dieser Apparat schematisch dargestellt.

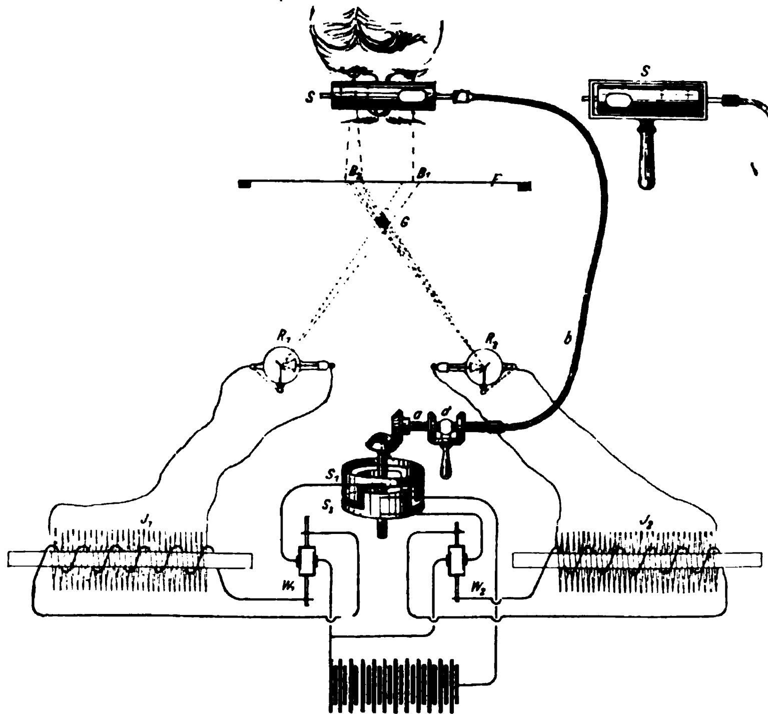


Figur 449.

$J_1 J_2$ sind zwei Funkeninduktoren von etwa 30 cm Schlagweite, welche zum wechselweisen Betriebe der Röhren $R_1 R_2$ dienen. Dieser Wechsel wird erreicht durch das Einsetzen zweier voneinander isolierter Ringe $S_1 S_2$ mit je zwei Zähnen in den S. 119 bis 121 beschriebenen Turbinen-Unterbrecher. Jeder Ring steht mit der primären Wicklung eines Funkeninduktors in Verbindung, derart, daß bei einer Umdrehung des Unterbrechers beide Funkeninduktoren zwei Stromstöße in wechselnder Reihenfolge empfangen, deren Richtung durch die angeordneten Stromwender W_1 W_2 eingestellt werden kann. Somit entstehen auch bei jeder Umdrehung des Unterbrechers je zwei Roentgenbilder in den Punkten B_1 B_2 des Fluoreszenzschirmes F vom Gegenstande G, und zwar in abwechselnder Reihenfolge. — Durch ein Winkelräderpaar wird die Drehung des Unterbrechers auf die horizontale Welle a, von dieser mittels des Differentialgetriebes d auf die biegsame Welle b und schließlich auf das Stroboskop s bertragen. Eine Uebersetzung findet hierbei nicht statt, vielmehr haben

die Unterbrecherwelle und das Stroboskop genau die gleiche Winkelgeschwindigkeit.

Das Stroboskop *s* besteht aus einem um seine Längsachse drehbaren Rohr, das in der Entfernung der Augenachsen in zwei aufeinander rechtwinklig stehenden Richtungen durchbohrt ist. Rotiert dieses Rohr vor den



Figur 450.

Augen, so wird abwechselnd für das rechte und linke Auge der Durchblick frei. Damit dies in den gleichen Momenten erfolge, in welchen auf dem Fluoreszenzschirm die Bilder entstehen, kann die biegsame Welle mit dem Stroboskop mittels des Differentialgetriebes *d* um einen beliebigen Winkel gedreht werden. Der stereoskopische Anblick oder die Vereinigung beider Bilder zu einem körperlichen Effekt, wird natürlich nur dann eintreten, wenn man das von der rechts liegenden Röhre entworfene Bild mit dem linken Auge, und das von der linken Roentgenröhre entworfene Bild mit dem rechten Auge zu sehen bekommt. Die Einstellung des Stroboskops erfolgt am einfachsten nach Inbetriebsetzung des Apparates durch direkte Beobachtung der Bilder durch das Stroboskop und allmähliche Verschiebung der Phase desselben durch das Wendegetriebe.

Fig. 451 gibt ein Bild des Unterbrechers nebst dem damit verbundenen

Stroboskop zu dem von der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft in Berlin hergestellten stereoskopischen Roentgenapparate. Dieser Apparat eignet sich vorzüglich dazu, die Lage von Fremdkörpern im menschlichen Körper festzustellen. Bei sehr starken Objekten, die schwer durchleuchtet werden können, leidet die Klarheit des Effektes am Mangel an Details im Bilde.

Der einzige Nachteil derartiger Apparate ist ihr sehr hoher Preis, der einer Verbreitung derselben hindernd im Wege stehen dürfte. Da aber die Bestimmung der Lage von Fremdkörpern vor operativen Eingriffen von



Figur 451.

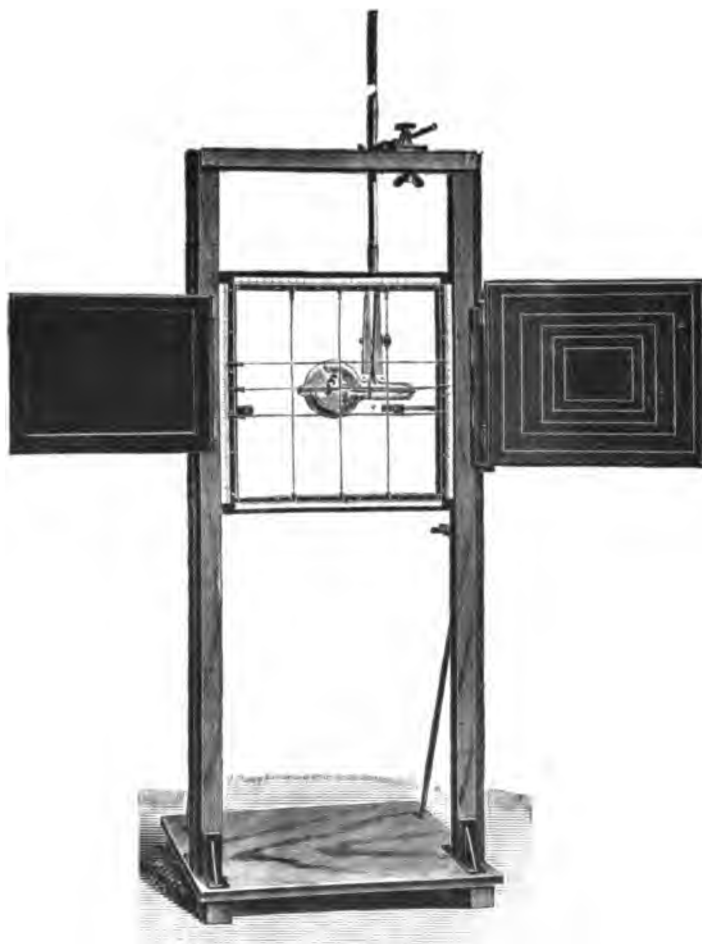
größter Wichtigkeit ist, ebenso vergleichende Messungen an inneren Organen bei ein und derselben Person vorgenommen werden müssen, um zahlenmäßige Veränderungen an den zu untersuchenden Organen festzustellen, so ist ein hierzu geeigneter billiger Meßapparat von nicht zu unterschätzender Bedeutung.

4. Meßstative.

Ein solches Meßstativ (Fig. 452 und 453) nach Dr. Aug. Hoffmann in Düsseldorf wird von Max Kohl A.-G. in Chemnitz hergestellt. Dasselbe besteht aus einem viereckigen Rahmen, welcher sich zwischen zwei senkrechten Säulen nach oben und unten verschieben läßt. Am oberen Ende sind die Säulen durch die Querpfoste, am unteren durch einen Bretterboden verbunden. Auf den Bretterboden stellt sich die zu untersuchende Person oder sie nimmt auf einem darauf gestellten Schemel Platz. Hierdurch wird erreicht, daß das Stativ fest und unverrückbar steht. Der bewegliche Rahmen trägt auf allen vier Seiten Schienen aus Messing, auf denen hakenförmige, die Schienen umfassende Messingschieber gleiten. Je zwei gegenüberliegende Schieber sind durch einen mittels einer Spiralfeder straff gespannten, 1,5 mm starken Stahldraht verbunden. Von diesen verschiebbaren Drähten sind in horizontaler und vertikaler Richtung je drei

vorhanden. Neben den Schienen sind Millimetermaßstäbe angebracht, so daß man die Entfernung der parallel gespannten Drähte voneinander stets ablesen kann.

An der Seite des Stativs sind an den beiden senkrechten Säulen starke Holzleisten angebracht, an denen einerseits ein Halter für den Leuchtschirm, andererseits ein solcher für eine photographische Kassette dreh- und ver-



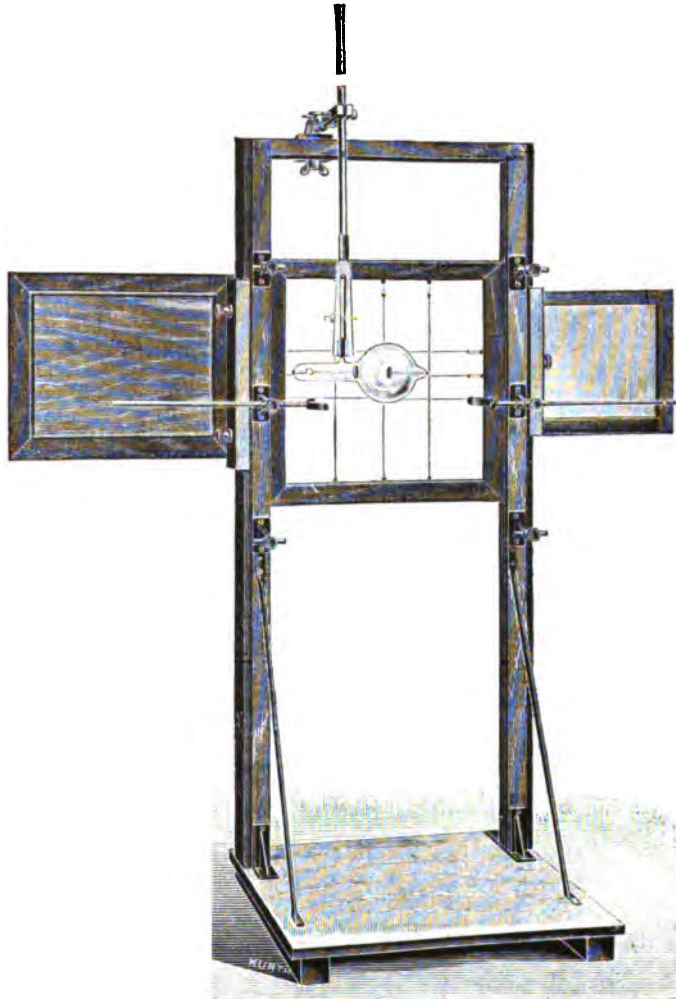
Figur 452.

schiebbar angebracht ist. Leuchtschirm und Kassette lassen sich an den Haltern durch Einhängen an Zapfen leicht befestigen.

Jede der senkrechten Säulen trägt ferner auf der dem Patienten zugewandten Seite drei Stützen, ähnlich den Kopfstützen der Photographen, mit denen der Patient in seiner Stellung festgehalten werden kann. Der

obere Querpfosten trägt einen verschiebbaren Arm, an dem sich der Roentgenröhrenhalter befindet.

Bei der Untersuchung stellt oder setzt sich der Patient ganz dicht vor den Meßrahmen, den man in die passende Höhe bringt. Hinter den Meßrahmen bringt man den Leuchtschirm, mit der Schichtseite dem Beschauer



Figur 153.

zugekehrt. Vor den Patienten, in einem Abstande von 50 cm vom Leuchtschirme, kommt die Roentgenröhre. Verdunkelt man nun das Zimmer, so sieht man auf dem Fluoreszenzschirme in dem Schattenbilde des Körpers die kreuzweise gespannten Drähte sich als dünne Linien scharf abzeichnen.

Da Rahmen sowie Leuchtschirm vom Stativ getragen werden, so hat man beide Hände frei und kann, indem man je zwei auf den Schienen gleitende Schieber faßt, jeden Draht auf einen beliebigen Punkt einstellen. Durch zwei sich kreuzende Drähte läßt sich ein Punkt genau markieren, durch vier Drähte ein Organ, z. B. das Herz, umrahmen. Dadurch, daß man einen ferneren Draht auf einen bestimmten Punkt des Körpers einstellt, kann man die Lage des Organs im Körper mit einiger Genauigkeit bestimmen.

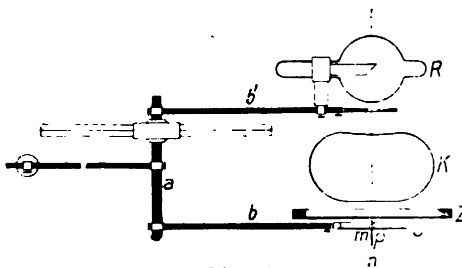
Wenn die Durchleuchtung nicht mit genügender Sicherheit Aufschluß gibt, so kann man die Kassette an Stelle des Leuchtschirmes bringen und im photographischen Bilde durch die Linien Messungen ausführen. Bei vergleichenden Messungen müssen natürlich die Bedingungen, unter denen die Durchleuchtung oder die photographische Aufnahme erfolgt ist, genau dieselben sein, namentlich gilt dies von dem Abstande der Röhre von der Platte bezw. dem Leuchtschirm.

Dieser Apparat gestattet wohl vergleichende Messungen, gibt aber über die wahre Größe und Lage des Objektes ungenügende Anhaltspunkte, weil infolge der stattfindenden Zentralprojektion das Bild größer erscheint und eine beträchtliche Verzeichnung aufweist. Zur Ermittelung der wahren Größe ist eine rechtwinklige Parallelprojektion erforderlich. Um eine solche zu erreichen, ist dafür zu sorgen, daß der Roentgenstrahl eine Tangente an das zu projizierende Objekt darstellt, d. h. daß die Strahlen, stets zueinander parallel bleibend, auf den Schirm treffen.

5. Orthoroentgenographen.

Eine Vorrichtung, welche diesen Zweck erfüllt, ist die an dem vorhin beschriebenen Meßstativ von Max Kohl A.-G., Chemnitz, anzubringende Zeichenvorrichtung.

Diese besteht in der Hauptsache (vergl. die schematische Zeichnung Fig. 454) aus einem Doppelarm, der einerseits die Roentgenröhre, andererseits den Zeichenstift trägt, und der dreh- und verschiebbar angeordnet ist, so daß sich die Röhre und der Stift parallel zur Ebene des Leuchtschirmes beliebig, aber zwangsläufig verschieben lassen.



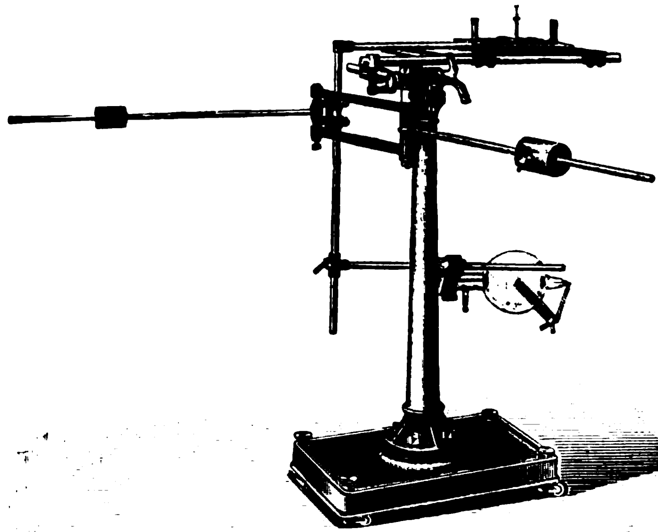
Figur 454.

Die Einrichtung ist demnach so getroffen, daß die Röhre jeder Bewegung des Stiftes folgt, und zwar derart, daß die Verbindungslinie zwischen Stift und Antikathode stets senkrecht zur Ebene des Leuchtschirmes steht.

Figur 455—459 zeigen einen ähnlichen, orthographisches Zeichenstativ genannten Apparat, wie er von der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft in Berlin angefertigt wird. Die Verbindung des Leuchtschirmes *L* (Fig. 457), der gleichzeitig den Zeichenstift trägt, mit der Roentgenröhre ist dadurch bewirkt, daß der Leuchtschirm an einem Stahlrohr *A* befestigt ist, welches mit einem zweiten Stahlrohr *B* zu einem rechten Winkel fest verbunden ist, und zwar derart, daß das Rohr *B* sich parallel zu dem Zeichenstift befindet. Mit einer Klemmmutter ist auf dem Stahlrohr *B* ein drittes Stahlrohr *C* verschiebbar und festklemmbar angeordnet. Das Rohr *C* trägt die ebenfalls verschiebbare Klaue zum Einspannen der Roentgenröhre. Die Verschiebbarkeit der Klaue *K* dient dem Zwecke, den Ausgangspunkt der Roentgenstrahlen tatsächlich in die Verlängerung der Achse des Zeichenstiftes zu legen; oberflächlich kann diese Einstellung nach dem Augenmaß geschehen, geringe Fehler sind ohne Einfluß auf die Genauigkeit des gezeichneten Bildes. Um aber doch eine genaue Einstellung des Ausgangspunktes in die Achse des Zeichenstiftes zu ermöglichen, d. h. um mit genau senkrechtem Roentgenstrahl zu arbeiten, ist dem Apparat ein kleines Visierrohr beigegeben, das in die Führungshülse des Zeichenstiftes eingesetzt werden kann. Die Parallelverschiebung in jeder beliebigen Richtung wird dadurch bewirkt, daß dieser Teil um zwei zueinander parallele Achsen, und zwar um das Spitzenlager *D* und die Konusachse *E* drehbar ist. G_1 und G_2 sind Ausgleichgewichte. An einer Säule *F*, die zur Lagerachse *E* rechtwinklig steht, wird mittels Universalklammer *H* der Halterarm *J* des Zeichenbrettes *Z* festgeklemmt, auf dessen Fläche ein Stück Zeichenpapier durch seitlich angebrachte, herausklappbare Schienen leicht befestigt werden kann. Der Zeichenstift wird durch die Ueberschubhülsen an seiner Führungshülse mit Bajonettverschluß festgeklemmt und durch eine Spiralfeder sanft gegen die Papierfläche gedrückt. Das Rohr *B* ist dabei in der Spannmutter *M* derartig festzustellen, daß der Schirm sich in ungefähr 1 cm Abstand vor

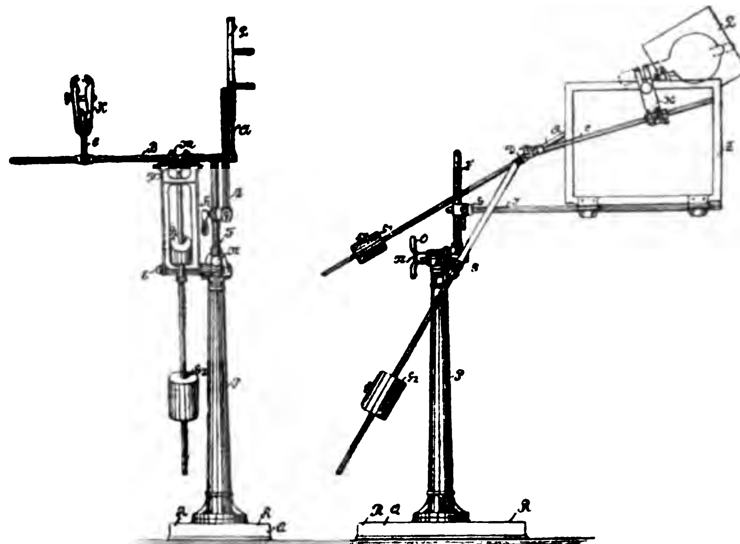


Figur 457.



Figur 456.

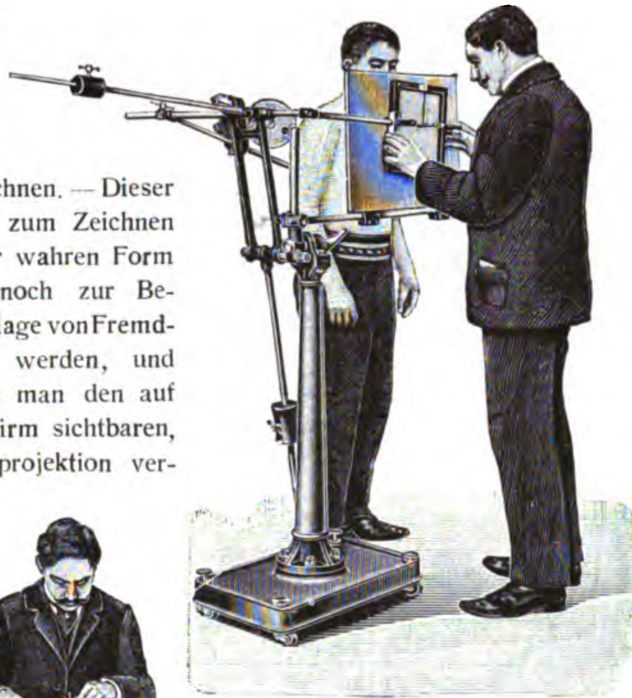
der Zeichenfläche bewegt. Der gesamte bisher beschriebene Apparatteil ist nun um die Achse *N* im Kopf der Tragesäule *P* drehbar und durch eine Flügelmutter *O* in jeder Lage festklemmbar. Die schwere Grundplatte *Q* trägt an ihren vier Ecken Rollen, welche den Apparat leicht



Figur 457.

verschiebbar machen; durch die Drehachsen der Rollen hindurch gehen Klemmschrauben *R*, durch deren Anziehen die Rollen entlastet, und der Apparat auf die Schraubenspitzen festgestellt wird.

Die Abbildungen Figur 458 und 459 erläutern den Gebrauch des Apparates für vertikales und horizontales Zeichnen. — Dieser Apparat soll außer zum Zeichnen der Organe in ihrer wahren Form und Größe auch noch zur Bestimmung der Tiefenlage von Fremdkörpern verwendet werden, und zwar dadurch, daß man den auf dem Fluoreszenzschirm sichtbaren, infolge der Zentralprojektion ver-



Figur 458.



Figur 459.

größert erscheinenden Körper mit einem Maßstabe mißt und mit der gezeichneten wahren Größe vergleicht. Aus diesen beiden Maßen und dem Abstande des Objekts vom Leuchtschirm ließe sich allerdings die Tiefe eines Fremdkörpers annähernd berechnen, genau läßt sie sich jedoch aus dem Grunde nicht berechnen, weil die zur Berechnung dienenden Dreiecke zu spitzwinklig sind. In folgendem sind dafür bessere Methoden angegeben.

Zeichenapparate auf gleichem Prinzip, speziell zur Aufnahme von Herzbildern bauen die Firmen Polyphos-Elektricitäts-Gesellschaft, München (nach Prof. Moritz), und Siemens & Halske A.-G., Berlin, außerdem die Firma Reiniger, Gebbert & Schall A.-G., Erlangen (nach Dr. Levy-Dorn und Dr. Franz Groedel). Wegen Konstruktionseinzelheiten muß auf die Kataloge dieser Firmen verwiesen werden.

6. Apparate zur Lokalisation von Fremdkörpern.

Die Polyphos-Elektricitäts-Gesellschaft in München liefert auch einen, Punktograph benannten, sehr einfachen Apparat nach Angabe von Dr. Rosenthal, der zur Bestimmung des Ortes (Tiefe) eines Fremdkörpers, z. B. einer im Oberschenkel sitzenden Gewehrkugel, dienen kann. Der Apparat (Fig. 460) besteht aus zwei langen, schmalen Stäbchen, an deren Enden Metallringe sitzen. Diese werden auf beiden Seiten des Schenkels aufgelegt und so verschoben, daß beide Metallringe nur ein Bild auf dem Leuchtschirm geben, d. h. deren beide Schatten sich decken und in der Mitte den Schatten des Fremdkörpers zeigen. Durch einen



Figur 460.

Druck auf den Knopf des Apparates wird in der Mitte der Ringe je ein farbiger Punkt aa_1 auf die Haut gemacht, und es ist klar, daß die Kugel auf der Verbindungslinie dieser beiden Punkte liegen muß. Verschiebt man nun die Röhre um eine beliebige Strecke, so läßt sich der Körper abermals in die Ringe fassen und man erhält zwei neue Farbemarken bb_1. Der gesuchte Körper muß nun in dem Schnittpunkte der Verbindungslinien aa_1 mit bb_1 liegen, und einem geübten Chirurgen wird es in den meisten Fällen nicht schwer fallen, den Körper zu treffen. Bezeichnet d die Dicke des Körperteils, e die Entfernung der beiden vorderen Punkte $a \cdot b$ und f die Entfernung der beiden hinteren Punkte $a_1\ b_1$, so beträgt die Tiefe des Fremdkörpers unter der vorderen Oberfläche $= \frac{e\,d}{e+f}$; unter

der hinteren Oberfläche $= \frac{fd}{e+f}$. Diese Formeln gelten freilich nur unter der Voraussetzung, daß die vordere und hintere Oberfläche des Körperteils eine Ebene ist und beide parallel liegen, ein Fall, der beim menschlichen Körper kaum eintreten kann. Es können somit die berechneten Tiefen bloß angenäherte sein, doch kommt eine geringe Abweichung nicht in Betracht.

Das von Dr. B. Donath angegebene, von Ferdinand Ernecke in Berlin konstruierte und zu beziehende Meßstativ gibt genaue Resultate, und zwar lassen sich damit folgende Fragen befriedigend lösen:

1. Unter welchem Punkte, senkrecht zur Fläche des Leuchtschirmes, ist der Fremdkörper, Knochensplitter etc., zu finden?
2. Wie groß ist derselbe?
3. In welcher Entfernung vom Leuchtschirm, senkrecht unter dem ad 1 ermittelten Punkte, liegt derselbe?
4. Wie groß ist die Entfernung zweier Körper voneinander, auch wenn dieselben hintereinander liegen?

Die Konstruktion dieses Apparates (Figur 461) ist eine sehr einfache; er besteht im wesentlichen aus einer in Millimeter geteilten Schiene, auf welcher sich eine Roentgenröhre entweder zugleich mit einem kleinen Leuchtschirm oder ohne denselben verschieben läßt. Diese Schlittenvorrichtung ist an einem schweren eisernen, am Fußboden zu befestigenden Stativ angebracht, an dem sie sich auf und nieder, sowie nach allen Winkeln der Vertikalebene bewegen läßt, um so der Stellung des zu untersuchenden Objektes angepaßt werden zu können.

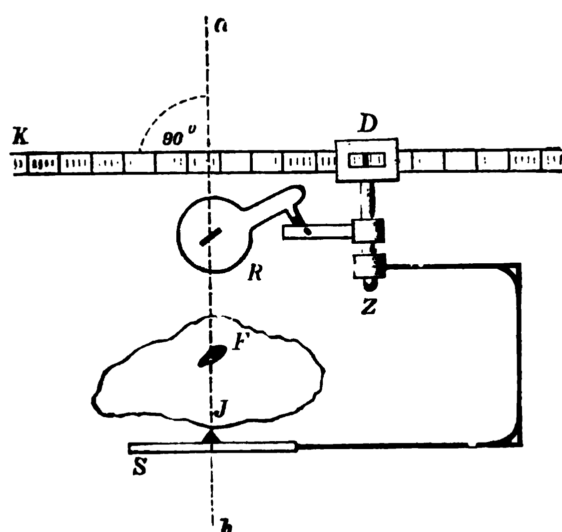


Figur 461.

Bei den Messungen wird wie folgt verfahren:

Zur Beantwortung der Frage 1 (vergl. Figur 462):

Die Roentgenröhre wird mit dem Leuchtschirm *S* auf den beweglichen Zapfen *Z* der Schiebevorrichtung so aufgesetzt, daß die Skala *K*, Antikathode und Mittellinie des Leuchtschirmes möglichst in einer Ebene liegen. Dann wird der Index *J* so eingestellt, daß eine durch ihn und die Antikathode gedachte Linie *a—b* auf der Skala *K* möglichst senkrecht steht. Befindet sich nun ein Fremdkörper *F* zwischen Röhre und Schirm, und wird die Vorrichtung so verschoben, daß der Schatten des Fremdkörpers in die Visieröffnung des am Leuchtschirm angebrachten Index fällt, so muß sich der Körper offenbar genau hinter der Visieröffnung und zwar senkrecht zum Leuchtschirm, in der Richtung nach der Antikathode der Röhre hin befinden.



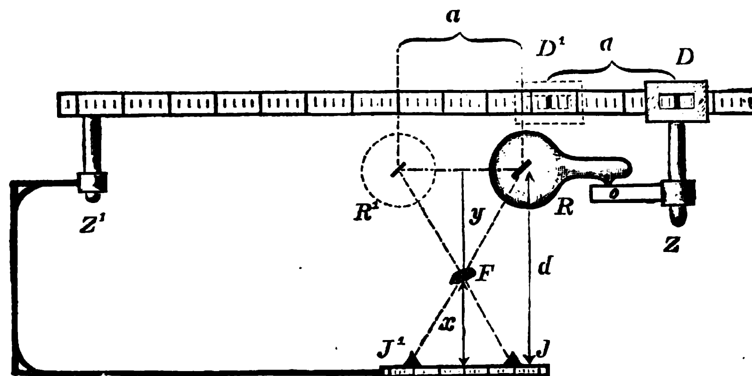
Figur 462.

Zur Beantwortung der Frage 2: Die Schlittenvorrichtung wird mit dem Leuchtschirm erst auf den einen, dann auf den anderen Rand des Schattens eingestellt und die Strecke am Maßstab abgelesen. Durch Drehen der Skala in jeder beliebigen Richtung kann die Größe des Körpers in allen seinen Dimensionen bestimmt werden.

Zur Beantwortung der Frage 3: Röhre und Leuchtschirm werden getrennt. Die Röhre bleibt an ihrem Ort, während der Schirm, an dem Zapfen Z_1 (Fig. 463) befestigt und herangedreht wird. Die Röhre wird nun zunächst dem Schirm gegenüber gebracht und das Objekt so dazwischen gehalten, daß der Schatten etwa auf die Mitte des Schirmes fällt. Wird die Röhre um einen beliebigen Betrag nach rechts verschoben, so wandert der Schatten nach links. Dann verschiebt man den Index am Leuchtschirm ebenfalls so weit nach links, bis der Schatten durch den Indexfaden halbiert wird (J^1); die Zahlen an den Skalen bei *D* und J^1 werden abgelesen und notiert. Hierauf folgt eine beliebige Verschiebung der Röhre nach links (etwa 20—30 cm) und wiederum ein Notieren der Zahlen bei D^1 und *J*. $D—D^1$ ergibt die Verschiebungsstrecke a; $J^1—J$ die Verschiebungsstrecke *b* des Index auf dem Leuchtschirm. Nun mißt man

noch die Entfernung d der Antikathode vom Leuchtschirm, was mit genügender Genauigkeit mit einem Millimetermaßstab geschehen kann. Die Entfernung des Körpers vom Leuchtschirm ist dann $x = \frac{b\,d}{a + b}$. Wird das zu untersuchende Objekt bei der Messung direkt an den Leuchtschirm angelegt, so gibt die so erhaltene Zahl direkt die Entfernung des Fremdkörpers unter der Objektoberfläche an.

Zur Beantwortung der Frage 4: Liegen die Körper nebeneinander, so erledigt sich die Frage nach Beantwortung 2, indem nun nicht die Größe eines Körpers, sondern eine Zwischenraumstrecke zu

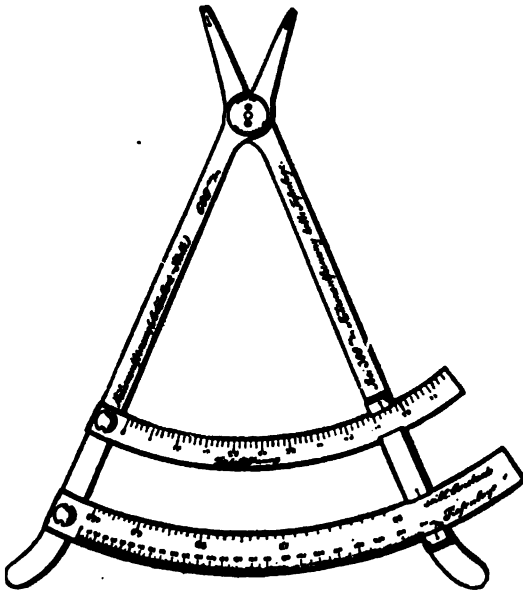


Figur 463.

messen ist. Kann diese Messung bei verschiedenen Stellungen des Objektes gemacht werden, so ist der größte erhaltene Wert der wahrscheinlichste.

Liegen die Körper gerade hintereinander, so kann für jeden derselben eine Tiefenbestimmung nach Beantwortung 3 gemacht werden; die so erhaltenen Zahlen voneinander abgezogen, ergeben die Entfernung beider Körper voneinander. Die Genauigkeit dieser Messungen beträgt bei leichten Objekten 1 bis 2 %; bei schwierigen Messungen etwa 3 bis 4 %. Noch einfacher, ohne Berechnung, aber völlig identisch mit dem bei Beantwortung der Frage 3 auseinandergesetzten Verfahren, ist die Bestimmung mittels des Tiefenmessers nach Dr. R. Fürstenau. Vorausgesetzt ist dabei, daß die Röhrenentfernung (b = 80 cm) und die Größe der Röhrenverschiebung a konstant = 65 mm bleibt. Die Tiefenlage ist dann lediglich abhängig von der auf dem Leuchtschirm ersichtlichen und meßbaren Entfernung der beiden nacheinander auftretenden Schattenbilder des Objekts. Diese geometrische Beziehung dient als Grundlage für die Konstruktion des in Figur 464 abgebildeten Instrumentes, das die Gestalt eines Doppelzirkels

mit zwei Schenkelpaaren aufweist, deren eines viermal so lang ist wie das andere. Die beiden kurzen Schenkel des Instrumentes endigen in abgestumpften Spitzen, welche je einen feinen eingravierten Strich tragen und dazu dienen, auf die beiden Schattenbilder auf dem Leuchtschirm aufgesetzt zu werden. Jeder Entfernung der beiden Schattenpunkte und somit auch jeder Tiefenlage entspricht also eine ganz bestimmte Zirkelöffnung, die um so größer wird, je weiter das Objekt sich von dem Schirm entfernt.



Figur 464.

Die Tiefenlage ist direkt in Millimeter auf der unteren der beiden in der Figur sichtbaren Skalen abzulesen. Ist man aus irgendwelchen Gründen gezwungen, eine andere Röhrendistanz zu benutzen, so kann man die Tiefenlage des Objektes dennoch ermitteln, nur muß man die abgelesene Tiefenlage mit dem Verhältnis des normalen zum annormalen Röhrenabstand multiplizieren.

Um die Messung noch bedeutend zu vereinfachen und die zeitraubende Verschiebung der Röhre nach Aufsetzung der ersten Zirkelspitze zu vermeiden, kann man die speziell für diese Zwecke konstruierten Stereoröhren verwenden, deren Kathodenstrahlenbrennpunkte 65 mm voneinander entfernt sind.

Um nun auch noch die seitliche Entfernung des Objektes von irgendeinem festliegenden Fixpunkte ermitteln zu können, ist die untere Skala des Instrumentes mit einer zweiten Teilung versehen, welche die sogenannte „seitliche Konstante" ergibt.

Nach derselben Betrachtung wie oben, ergibt sich für diese Größe

$$z = A\left(1 - \frac{x}{d}\right).$$

A ist dabei der Abstand der beiden von einem Strahlenbündel erzeugten Schattenbilder des Fixpunktes und des betreffenden Objekts, $\left(1 - \frac{x}{d}\right)$ ist die „seitliche Konstante", die auf derselben Skala wie die Tiefenlage an-

gebracht und gleichzeitig mit ihr abgelesen werden kann. Die Größe A ist auf der zweiten Skala ablesbar und braucht nur mit der vorher abgelesenen Konstante multipliziert zu werden, um die seitliche Lage des Objekts zu ergeben. Benutzt man eine Stereoröhre, so muß man bei der zweiten Messung nur eine Kathode einschalten und die Röhre parallel zu sich so lange verschieben, bis der Zentralstrahl durch den gewählten Fixpunkt geht. Dann setzt man die Spitze des Instrumentes auf den Schatten des Fixpunktes bezw. Objekts.

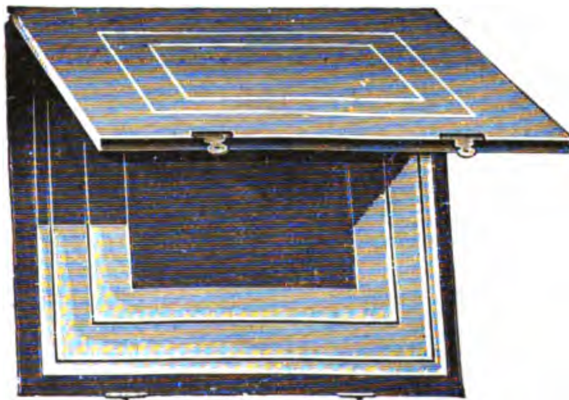
Der Meßbereich des Instrumentes erstreckt sich über eine Tiefenlage von 0 bis 250 mm, was für alle praktischen Zwecke ausreichend ist.

Zwanzigstes Kapitel.

Roentgenographie.

I. Kassetten.

In allen den Fällen, wo es sich darum handelt, das von den Roentgenstrahlen erzeugte Bild dauernd zu fixieren, oder wenn es sich um die Durchleuchtung sehr dichter und starker Körperteile handelt, wird die Roentgenographie anzuwenden sein. Dieselbe erfolgt durch photographische Aufnahme. Die heute gebräuchlichen Trockenplatten sind auch für Roentgenstrahlen empfindlich. Zur Aufnahme eines Bildes müssen die Platten in einen dünnen, gleichmäßig starken, für gewöhnliches Licht undurchlässigen Umschlag eingeschlagen sein, wozu sich z. B. schwarzes Papier eignet. Dieses primitive Verfahren führt aber leicht zum Bruch der Plattten und bedient man sich deshalb mit Vorteil einer eigens für Roentgenaufnahmen gefertigten Kassette. Figur 465 zeigt die Universalkassette von Dr. Levy, welche in zwei Größen hergestellt wird, deren jede für mehrere Plattengrößen eingerichtet ist.



Figur 465.

Da es sich bei der Roentgenphotographie um Schattenbilder eines Körpers handelt, sind photographische Apparate nicht nötig, auch gar nicht anwendbar, weil sich, wie wir früher gesehen haben, die Roentgenstrahlen durch Objektive nicht zu einem Bilde vereinigen lassen. Es bedarf daher auch keiner Einstellung der Platten, vielmehr werden diese, mit der lichtempfindlichen Schicht nach dem Objekt hin, dicht an dasselbe gehalten und die Roentgenröhre auf der anderen Seite des Objekts unter Einschaltung einer geeigneten Blende in geeigneter Entfernung von demselben angebracht. Die Mitte der Platte soll möglichst senkrecht von dem Hauptstrahl getroffen werden (Figur 466). Es wurde bereits früher darauf hingewiesen, daß die weichen, kontrastreichen Röhren die intensivsten und chemisch wirksamsten Strahlen aussenden, daher soll man zu einer Aufnahme nie eine härtere Röhre anwenden als notwendig ist. Was die Expositionszeit anbetrifft, so ist dieselbe natürlich von dem Instrumentarium, der Unterbrechungszahl, von der Wirksamkeit und Belastung der Röhre, sowie ihrer Entfernung vom Objekt und der Platte abhängig; die in folgender Tabelle genannten Expositionszeiten beziehen sich auf eine weiche, bei mittlerer Unterbrechungszahl mit mäßiger Stromstärke betriebene Kontraströhre, die sich in dem in der ersten Kolumne angegebenen Abstande von der Kassette befindet (Mitte Roentgenröhre bis Vorderkante der Kassette):

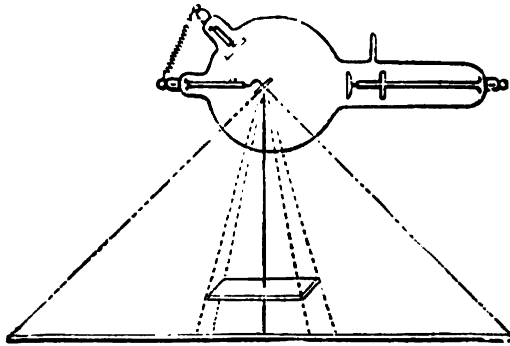

Figur 466.

Tabelle der Expositionszeit in Sekunden.

Aufnahmen von	Abstand in Zentimetern	Quecksilberstrahl- oder Flüssigkeits-Unterbrecher	Platin-Unterbrecher
Hand	25	6	30
Arm, Fuß	35	20	60
Schulter, Schlüsselbein, Hals, Brustbein, Oberschenkel	40	40	100
Schädel	45	45	120
Hüftgelenk	50	90	180
Becken	60	120	250

2. Verstärkungsschirme.

Bei starken Objekten muß man, um nicht allzu große Verzerrungen auf die Platte zu bekommen, die Röhre schon in einen größeren Abstand vom Objekt bringen; dadurch wird die Expositionszeit natürlich eine viel längere. Um dieselbe abzukürzen, bedient man sich eines Verstärkungsschirmes. Derselbe besteht aus einem Kartonpapierblatt, das mit einer Schicht feinst pulverisierten wolframsauren Calciums (Scheelit)



Mit Verstärkungsschirm. Figur 467. Ohne Verstärkungsschirm.

bedeckt ist. Dieser Stoff hat die Eigenschaft, unter dem Einflusse der Roentgenstrahlen in einer photographisch sehr wirksamen Farbe, nämlich blau-violett, zu fluoreszieren. Bedeckt man daher die photographische Trockenplatte mit einem solchen Schirm, Schicht an Schicht liegend, ohne Zwischenlage, so erzeugen nicht nur die X-Strahlen, die den Schirm fast ungehindert durchdringen, ein Bild in der bekannten Weise auf der Platte, sondern auch die von dem Fluoreszenzbild des Schirmes ausgehenden violetten, außerordentlich wirksamen Lichtstrahlen, wodurch die Wirkung in hohem Maße verstärkt wird. Baryum-Platincyanürschirme sind zur Bilderverstärkung wenig geeignet, weil die von solchen ausgehenden grünen Lichtstrahlen photographisch ziemlich unwirksam sind. Neuerdings sind die Verstärkungsschirme wesentlich verbessert worden, insofern es gelungen ist, eine fast kornlose Schicht zu erzeugen, so daß die frühere Unschärfe der Bilder wesentlich gemildert wird (Sinegranschirm der

Reiniger, Gebbert & Schall A.-G. in Erlangen und insbesondere die Gehler-Folie.)

Die Verstärkungsschirme setzen bei sonst gleichen Verhältnissen die Expositionszeit auf den vierten bis fünften Teil der sonst nötigen Zeit herab; wenn man statt der Trockenplatten Films anwendet und diese zwischen zwei Verstärkungsschirme legt, ist sogar eine Abkürzung bis auf den sechsten Teil der Zeit zulässig, weil das Zelluloid der Films die Roentgenstrahlen bedeutend weniger absorbiert als das Glas der gewöhnlichen Trockenplatten. Fig. 467 veranschaulicht die Wirkung eines solchen Verstärkungsschirmes.

Die kürzere Expositionszeit bei Anwendung von Verstärkungsschirmen, auch wenn dieselben noch so kornlos sind, wird leider auf Kosten der Schärfe der Bilder erkauft. Es empfiehlt sich deshalb, die Verstärkungsschirme nur in den Fällen anzuwenden, in denen eine sehr kurze Expositionsdauer unbedingt notwendig ist.

3. Roentgenplatten.

Die von verschiedenen Fabriken in den Handel gebrachten Spezialplatten für Roentgenstrahlen-Photographie unterscheiden sich von den gewöhnlichen Trockenplatten durch eine etwas dicker gegossene hoch bromsilberhaltige Emulsionsschicht, die möglichst klar arbeitet, um eine wesentlich längere Entwicklungsdauer ohne Schleierbildung zuzulassen. Vorzügliche Resultate gaben die Lumière'schen Plaques spéciales pour la Radiographie.

4. Roentgenfilms.

Roentgenfilms unterscheiden sich von den gewöhnlichen Trockenplatten sehr vorteilhaft dadurch, daß sie auf beiden Seiten mit Emulsion versehen sind. Bei der Exposition durchdringen die Roentgenstrahlen nicht nur die obere Schicht, sondern auch den Schichtträger (Zelluloid) und die untere Schicht, und es entstehen somit zwei kongruente Negative, deren Schatten sich addieren, also gegenseitig verstärken. Dies hat den Vorteil, daß man die Expositionszeit auf etwa den dritten Teil abkürzen kann, zwischen Verstärkungsschirmen sogar bis auf den zehnten bis zwölften Teil. Vor Ueberexposition ist zu warnen; man erhält dabei flaue Negative, mit denen nichts anzufangen ist.

5. Roentgenpapier.

Neuerdings bringt die Neue Photographische Gesellschaft, Berlin-Steglitz, auch Roentgenpapier für direkte Aufnahmen auf Bromsilberpapier in den Handel. Man kann auch mehrere solcher

Papiere übereinanderlegen und erhält dann auf einmal mehrere negative Papierbilder. Die Behandlung des Papiers erfolgt in genau gleicher Weise wie die der Platten, die Entwicklung geschieht mit verdünnterem Entwickler.

6. Schaukasten für photographische Platten.

Zur bequemen Betrachtung der erhaltenen Roentgen-Negative dienen die Schaukasten, die sich meist sowohl für Betrachtungen bei Tageslicht als auch bei elektrischem Licht eignen. Die Vorderwand des Kastens besitzt einen viereckigen Ausschnitt, in welchen z. B. ein Satz Rahmen hineinpaßt, die zur Aufnahme und Befestigung der photographischen Platten dienen. Hinter dem Ausschnitt befindet sich eine mattgeschliffene Glasscheibe. Um die Betrachtung der Platten bei Tageslicht zu ermöglichen, ist die Rückwand des Schaukastens herausnehmbar angeordnet. Die zur Beleuchtung dienenden Glühlampen sind so im Innern des Schaukastens angeordnet, daß die Platte nur das reflektierte Licht erhält, um eine möglichst homogene Beleuchtung derselben zu erzielen. Sehr bequem ist der in Figur 468 abgebildete Apparat nach Gocht, bei dem die Platte nur schräg in einer Zinkrinne stehend angelehnt und durch vier Rolljalousien, die sich von allen vier Seiten her bewegen lassen, eingegrenzt wird.



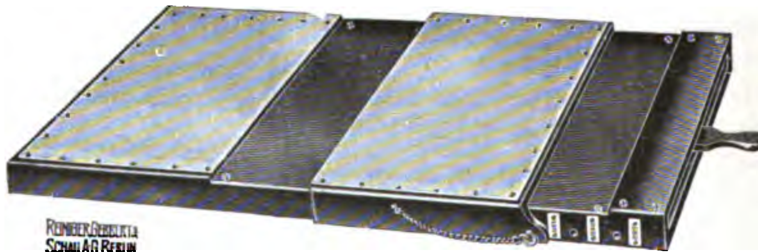
Figur 468.

7. Stereoskopische Roentgenbilder

kann man dadurch herstellen, daß man von einem Objekt zwei verschiedene

Aufnahmen macht, bei denen die Mitte der Roentgenröhre um etwa 65 cm verschoben wurde, oder einfacher durch Benutzung einer Stereoröhre. Natürlich müssen im ersten Falle im allgemeinen beide Aufnahmen nacheinander gemacht werden und darf weder das Objekt verschoben, noch sonst eine der Expositionsbedingungen geändert werden.

Zu solchen Doppelaufnahmen benutzt man vorteilhafterweise eine besonders dazu eingerichtete Roentgen-Stereoskopkassette (Figur 469). Dieselbe besteht aus einem Holzfutteral, in welchem sich eine besondere Kassette, welche die Platte enthält, verschieben läßt. Diese Platte wird doppelt so breit genommen, als für eine Aufnahme des Objektes nötig wäre, so daß also auf diese Platte zwei Aufnahmen nebeneinander gemacht werden können. Die beiden Seiten der Stereoskopkassette sind mit 3 mm starkem Zinkblech bedeckt, welches keine Roentgenstrahlen durchläßt; in der Mitte befindet sich ein mit dünnem Aluminiumblech bedeckter 25 cm breiter Ausschnitt. Auf dieses Aluminiumblech, welches Roentgenstrahlen fast ungehindert durchläßt, wird der abzubildende Gegenstand gelegt, und



Figur 469.

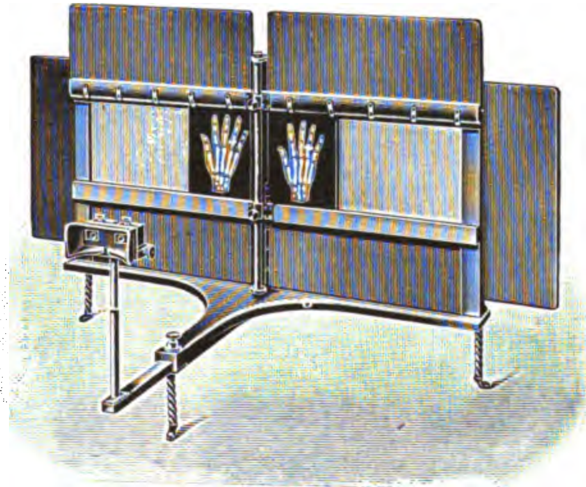
es können nun durch Verschiebung der inneren Kassette mit der Platte nach rechts oder links zwei Aufnahmen gemacht werden, ohne daß das Objekt auf der Aluminiumplatte seine Lage zu ändern hätte, nur die Röhre wird um den Augenabstand verschoben. In neuester Zeit hat man dieses etwas umständliche Verfahren noch wesentlich durch Konstruktion von Apparaten vereinfacht, bei denen Röhrenverschiebung, Plattenwechselung, Stromschluß und Unterbrechung automatisch erfolgt. Ein solcher ist z. B. von Grödel angegeben worden und wird von der Reiniger, Gebbert & Schall A.-G., in Erlangen in den Handel gebracht. Er besteht im wesentlichen aus einer Fallkassette, einem Stativ mit sich selbst verschiebendem Röhrenhalter und einer Schalttafel.

Der Gang der Aufnahme ist folgender: Die Kassette ist in die Höhe geschoben, die Röhre steht nach links exzentrisch. Der Patient lehnt sich gegen den Ausschnitt des Bleischirmes. Der Induktor wird eingeschaltet. Es wird nun nach genau vorher eingestellter Zeit automatisch der primäre

Strom unterbrochen; zugleich wird automatisch die Arretierung der Fallkassette ausgelöst und hierdurch die zweite Platte vor den Ausschnitt gebracht. Ferner wird automatisch die Röhre um 6 cm nach rechts verschoben. Ist die Röhre in ihre zweite Stellung gekommen, so wird automatisch der Strom wieder geschlossen und nach vorher eingestellter Zeit wieder automatisch geöffnet.

Der Apparat besorgt also in kürzester Zeit alle jene Manipulationen, die bei der Skelettstereographie der Untersucher ausführen muß. Infolgedessen ist es möglich, z. B. stereoskopische Thoraxaufnahmen in 1—2 Sekunden herzustellen.

Um diese zwei erhaltenen Bilder in ein körperlich erscheinendes Bild zu vereinigen, kann man auf zweierlei Art verfahren. Entweder man verkleinert sie photographisch auf das gebräuchliche stereoskopische Format



Figur 470.

und betrachtet sie dann durch ein Stereoskop, oder man bedient sich eines Prismen- oder Linsenstereoskopes nach Dr. Walter, oder eines Spiegelstereoskopes, welches es ermöglicht, die stereoskopisch aufgenommenen Originalbilder selbst zu betrachten, wodurch wesentlich an Zeit gespart wird, da die Verkleinerung in Wegfall kommt.

Das Prismenstereoskop (Figur 470) ist ein gewöhnliches großes Stereoskop mit verstellbaren Prismen und Sehlöchern, kann also für jede Augenachse bezw. Plattengröße und für jeden Augenabstand eingestellt werden.

Die stereoskopischen Roentgennegative werden in einen Rahmen eingeschoben, der mit Schiebern zwecks Abblendung des Nebenlichtes versehen ist.

Die Schieber werden in jedem Falle so eingestellt, daß gerade ein Ausschnitt bleibt, der das zu beobachtende Bild zur Durchsicht frei läßt.

Ein Vorzug des Prismenstereoskopes vor dem Linsenstereoskop ist der, daß bei jenem Apparat das stereoskopische Bild ungefähr in den aufgenommenen Dimensionen erscheint, während beim Linsenstereoskop die Bilder verkleinert werden.

Das Linsenstereoskop. Der Apparat besteht aus einer photographischen Kamera, welche an Stelle der Mattscheibe ein kleines Stereoskop trägt. Die stereoskopisch aufgenommenen Roentgennegative werden wie beim Prismenstereoskop in einem Rahmen mit Blendenschiebern befestigt, der in einer gewissen Entfernung, die sich nach der Plattengröße richtet, von der Kamera aufgestellt wird.

Das Objektiv der Kamera ist sehr lichtstark, der Apparat eignet sich dieserhalb auch vorzüglich zu gewöhnlichen photographischen Aufnahmen.

Mithin kann die Einrichtung auch dazu dienen, von einem paar besonders wichtiger stereoskopischer Aufnahmen eine oder mehrere verkleinerte Kopien herzustellen, wodurch die Untersuchung des Falles mehreren Interessenten ermöglicht ist.

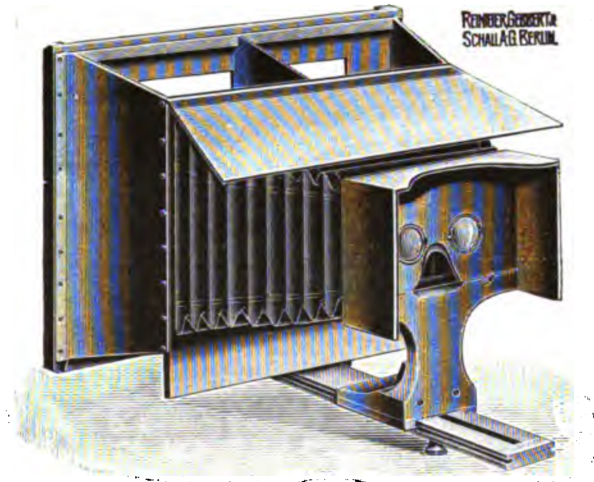
Die Vorteile des Linsenstereoskopes dürften indessen den weiter oben erwähnten Nachteil der Bildverkleinerung kaum aufwiegen.



Figur 171.

Das Spiegelstereoskop besteht aus einem Winkelspiegel und 2 gut ventilierten Reflektoren, welche je 4 Stück 16 kerzige mattierte Glühlampen tragen, wodurch die Mattscheiben der Reflektoren als Betrachtungshintergrund eine gleichmäßige Helligkeit erhalten. Die Rohein-

stellung des stereoskopischen Effektes wird erzielt durch Vor- oder Zurückschieben des Winkelspiegels, die Feinstellung durch Neigen und Emporschrauben des rechten Rahmens; der linke Rahmen steht fest. Beide Rahmen tragen federnde Schnepper zum Festhalten der Platten.



Figur 472.

Erwähnt sei hier auch noch das Stereoskop von Bartholdy, (Figur 472), bei dem anstelle der üblichen Stereoskopgläser, welche prismatische Linsenausschnitte darstellen, einfache Prismen zur Darstellung gelangen.

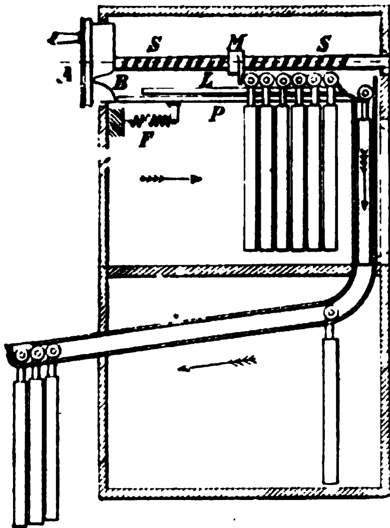
Einundzwanzigstes Kapitel.

Ueber Roentgenkinematographie.

Das Problem, Roentgendurchleuchtungsbilder in ähnlicher Weise wie Lichtbilder in so schneller Aufeinanderfolge zu registrieren, daß sie bei der Wiedergabe den Eindruck einer kontinuierlichen Bewegung machen, ist mit der Verbesserung der Instrumentarien der Roentgenröhren und der Verstärkungsschirme in ein praktisches Stadium getreten.

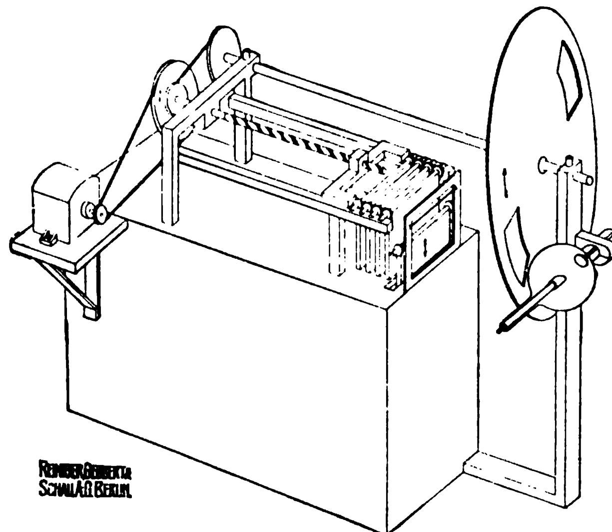
Der erste Apparat dieser Art (Fig. 473 und 474) rührt von Groedel her und wird von der Reiniger, Gebbert & Schall A.-G., Erlangen, in den Handel gebracht. Das Prinzip ist kurz folgendes:

Eine größere Anzahl zwischen zwei Verstärkungsschirmen liegende



Figur 473.*)

Films befinden sich in Kassetten mit starkem Bleiboden und werden gegen eine mit entsprechendem Ausschnitt versehene Bleiwand vorwärts bewegt. Vor den Kassetten befindet sich eine dicke Metallplatte. Die Kassetten hängen an zwei Schienen, die in einem geringen Abstand von dem Bleischirm endigen. Sobald daher die Metallplatte bis an das Ende der Schienen vorgeschoben ist, fällt sie nach unten und gelangt auf einer schiefen Ebene in einen gepolsterten Kasten. Inzwischen werden die Kassetten weiter geschoben, und es fallen diese jedesmal, wenn sie um 1 cm vorgerückt sind, der Reihe nach ab. Genau gegenüber der Mitte des Ausschnittes der Bleiwand ist die Roentgenröhre befestigt. Vor der Röhre wird durch den Antriebselektromotor, der auch das Vorschieben der Kassetten bewirkt, der Unterbrecher des Unipuls-Apparates in Tätigkeit gesetzt, der der



Figur 474.

*) Aus Liesegang, Handbuch der praktischen Kinematographie. Leipzig.

Röhre bei dem Vorspringen einer neuen Platte jeweils eine kräftige Einzelentladung zuführt und so die Aufnahme bewirkt.

Die so gewonnenen Bilder werden verkleinert, in der gleichen Reihenfolge wie bei der Aufnahme auf einem Filmband aneinandergereiht und in üblicher Weise kinematographisch reproduziert.

Eine zweite Methode, die offenbar bedeutend einfacher sein würde, wurde von Biesalski und Kohler vorgeschlagen, die das Leuchtschirmbild (Calciumwolframat) direkt mittels üblichen kinematographischen Aufnahmeapparates registrierten.

Um die direkten und sekundären Strahlen vom Objektiv abzuhalten, wurde das Bild durch einen Silberspiegel unter einem Winkel von 45° in das Objektiv des mit Bleiblech umkleideten Kinematograph reflektiert. Die in dieser Richtung angestellten Versuche haben indessen wegen der Lichtschwäche des Fluoreszenzbildes noch zu keinen praktisch brauchbaren Resultaten geführt.

Zweiundzwanzigstes Kapitel.

Ueber Roentgeneinrichtungen mit Funkentransformatoren zum direkten Betrieb mit Wechselstrom ohne Unterbrecher.[1])

Während bis vor einigen Jahren die Anwendung von Wechselstrom zum Betrieb von Roentgeninduktoren mannigfache Schwierigkeiten bereitete,

---

[1]) **Literatur**:

F. J. Koch. Annalen der Physik. 4. Folge. 14, S. 547—555. 1904.

B. Walter, Der Wechselstrom und seine Anwendungen im Roentgenbetriebe. Fortschritte auf dem Gebiete der Roentgenstrahlen, 8, S. 1—11 und 194—209. 1905.

F. J. Koch und K. A. Sterzel, Fortschritte auf dem Gebiete der Roentgenstrahlen, 8. S. 271—275. 1905.

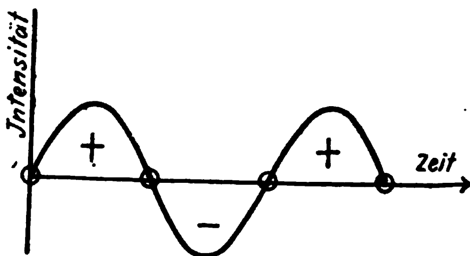
F. J. Koch, Bemerkungen zur Abhandlung des Herrn Walter. Fortschritte auf dem Gebiete der Roentgenstrahlen, 8. S. 443—444. 1905.

B. Walter, Gegenbemerkungen hierzu. Fortschritte auf dem Gebiete der Roentgenstrahlen, 8. S. 446. 1905.

F. J. Koch, Ueber den Stand der heutigen Roentgen-Elektrotechnik. Vortrag, gehalten im Dresdener Elektrotechnischen Verein in der Sitzung vom 18. Januar 1906. Elektrotechnische Zeitschrift 27, S. 705. 1906. — Bemerkungen und Erwiderungen hierzu: Elektrotechnische Zeitschrift 27. S. 938—939. 1906.

so daß es bei vorhandenem Wechselstromanschluß am vorteilhaftesten erschien, mittels eines Wechselstrom-Gleichstrom-Umformers den Wechselstrom erst in Gleichstrom zu verwandeln und letzteren dann zum Betriebe des Induktors in bekannter Weise unter Einschaltung eines Stromunterbrechers zu benutzen, sind in letzter Zeit verschiedene Anordnungen bekannt geworden, welche unter Vermeidung eines Unterbrechers die direkte Speisung der Roentgentransformatoren mit Wechselstrom gestatten. Da bei diesem neuen unterbrecher- und kondensatorlosen Betriebsverfahren die beträchtlichen Nachteile eines Stromunterbrechers in Fortfall kommen und ferner die hierbei benutzten Hochspannungstransformatoren eine vollkommenere Energieumsetzung als die Funkeninduktoren zulassen, so erscheint es nicht ausgeschlossen, daß man später auch bei Gleichstromanschluß, trotz der gegenwärtig hohen Stufe der Ausbildung des Gleichstrombetriebes von Roentgenapparaten, die wir im vorhergehenden kennen gelernt haben, zum unterbrecherlosen Betriebe mit Wechselstrom übergehen wird, zumal der hierzu erforderliche Gleichstrom-Wechselstrom-Umformer verhältnismäßig klein sein kann, nur unbedeutend höhere Anschaffungskosten als ein guter Gleichstromunterbrecher verursachen wird und endlich in der Mehrzahl der Fälle auch noch für andere elektromedizinische Zwecke, z. B. für Kauter und sinusoidalen Strom mit verwendet werden kann.

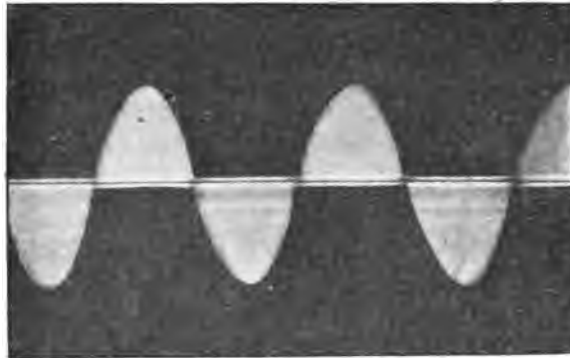
Gehen wir zunächst einmal auf die physikalischen Grundlagen des Wechselstrombetriebes von Funkeninduktoren im allgemeinen ein. Schickt man Wechselstrom direkt, also ohne Einschaltung eines Unterbrechers, in die primäre Wickelung eines gewöhnlichen Funkeninduktors, so entstehen natürlich auch in der Sekundärwickelung entsprechende Wechselströme, jedoch ist die Spannung derselben bedeutend geringer als bei Speisung der primären Spule mit unterbrochenem Gleichstrom. Beim Gleichstrombetrieb wird ja gerade durch den Unterbrecher der Abfall des primären Stromes ganz erheblich viel steiler gemacht als der Anstieg, um in der sekundären Spule eine hohe Induktionsspannung und dementsprechend große Funkenlänge zu erzielen, während beim Wechselstrom Anstieg und Abfall gleichmäßig sanft verlaufen. Die sekundäre Funkenlänge bei den gewöhnlichen Funkeninduktoren ist daher beim direkten Wechselstrombetrieb sehr gering und beträgt selbst bei den größten Apparaten nur wenige Zentimeter, kaum hinreichend, um eine



Figur 475.

weiche Roentgenröhre zu betreiben. Während man die durch die Sanftheit des Anstiegs und Abfalls der Wechselstromkurve bedingte geringe sekundäre Induktionsspannung bezw. Funkenlänge durch geeignete Konstruktion und Wickelung der Apparate, wie wir weiter unten kennen lernen werden, bedeutend steigern kann, so daß dieselbe zum Betriebe selbst der härtesten Roentgenröhre ausreichen würde, verursacht doch die Gleichmäßigkeit der primären Stromkurve gerade bei Anwendung des hochgespannten sekundären Stromes zur Speisung von Roentgenröhren große Schwierigkeit.

Die beiden während des primären Stromanstiegs und Stromabfalls in der Sekundärspule erzeugten, entgegengesetzt gerichteten Spannungen, die wir als Anstiegs- und Abfallsinduktionsspannungen bezeichnen wollen, sind genau gleich groß (Figur 475). Wir haben es, wie oben schon hervorgehoben, auch in der sekundären Spule mit hochgespannten Wechselströmen zu tun (vergl. Figur 476), während, wie wir wissen, zur Speisung einer normalen Roentgenröhre hochgespannte Gleichstrom-Impulse am vorteilhaftesten sind.



Figur 476.

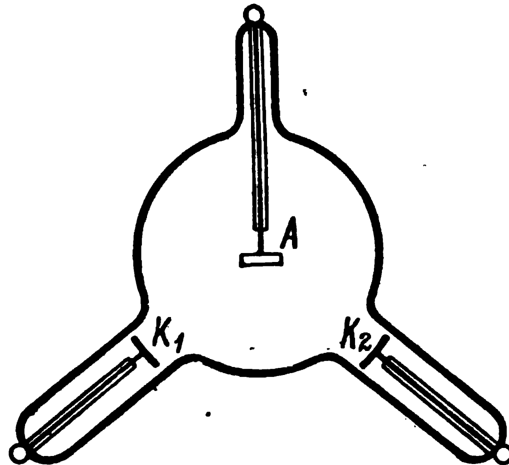
Hochgespannter Wechselstrom.

Schon beim Gleichstrom-(Unterbrecher-)Betrieb ist es ja mit gewissen Schwierigkeiten verknüpft, die den Oeffnungsinduktionsstromimpulsen entgegengesetzt gerichteten, allerdings bedeutend geringeren Schließungsinduktionsstromimpulsen, die auf die Ruhe des Fluoreszenzbildes nachteilig einwirken, die Schärfe der Konturen auf dem Leuchtschirm bezw. der photographischen Platte erheblich beeinträchtigen und insbesondere endlich die Lebensdauer der Roentgenröhre wesentlich verkürzen, von der letzteren nach Möglichkeit fernzuhalten, in wieviel höherem Maße müßte dies hier bei Gleichheit der beiden Spannungen der Fall sein.

Es sind nun zwei Wege eingeschlagen worden, um diese Schwierigkeiten zu überwinden. Der eine Weg besteht in der Konstruktion einer besonderen Wechselstrom-Roentgenröhre, bei der beide Stromrichtungen zur Erzeugung von Kathodenstrahlen nutzbringend verwendet werden, der andere Weg zielt auf die Erzeugung gleichgerichteter hochgespannter Induktionsströme.

Betrachten wir zunächst die Konstruktion einer Roentgenröhre mit zwei Kathoden, wie sie z. B. in Figur 477 schematisch dargestellt ist. Verbindet man bei derselben die beiden Kathoden K_1 und K_2 mit den beiden Polen des Induktors, so wird für die eine Phase des Wechselstromes K_1 und für die andere Phase K_2 zur Kathode. In diesem Falle kann offenbar von einer verkehrten Stromrichtung in der Röhre nicht mehr die Rede sein, andererseits ist sogar bei gleicher Wechselstromstärke die Leistungsfähigkeit der Röhre gerade doppelt so groß als bei einer einfachen Röhre, da hier die Induktionsspannungen beider Richtungen zur Erzeugung von Kathodenstrahlen benutzt werden.

So einfach diese Lösung auch auf den ersten Blick erscheint, so schwierig ist doch die Konstruktion derartiger Röhren.



Figur 477.

Zunächst ist nämlich bei der angegebenen Ausführungsform eine wesentliche Bedingung für die gute Funktion einer Roentgenröhre, daß bei jedem Induktionsstoß der positive Pol des Induktors mit der Antikathode der Roentgenröhre verbunden sein soll, um eine Ueberladung der Antikathode mit negativer Elektrizität, die zu einer schnellen Zerstäubung führt, zu vermeiden, nicht erfüllt.

Ein zweiter hieraus resultierender Uebelstand wäre der, daß eine

derartige Röhre überhaupt nur dann funktionieren kann, wenn sie noch ziemlich weich ist.

Stellt man sich nämlich mit B. Walter vor, daß die Roentgenstrahlen durch eine Neutralisation der in dem Kathodenstrahlenbündel enthaltenen negativen Elektrizität durch eine entsprechende Menge positiver zustande kommt, so könnte bei der abgebildeten Wechselstromröhre, bei welcher die Antikathode überhaupt nicht mit dem positiven Pol des Induktors verbunden ist, jene entsprechende Menge positiver Elektrizität eben nur so lange von der jeweiligen positiven Elektrode der Röhre zugetragen werden, als der Gasinhalt der letzteren noch genügend leitend ist, also bei verhältnismäßig niederem Vakuum.

Ein dritter Nachteil derartiger Doppelkathodenröhren endlich ist die Schwierigkeit einer genauen Orientierung der beiden Kathoden, damit die von denselben ausgehenden Kathodenstrahlenbündel genau auf denselben Punkt der Antikathode auftreffen; anderenfalls entstehen Bilder mit doppelten Umrissen.

Um letzteren Uebelstand zu vermeiden, kann man die Röhre so konstruieren, daß nur das von der Induktionsspannung einer Richtung des Wechselstromes hervorgerufene Kathodenstrahlenbündel zur Erzeugung von Roentgenstrahlen ausgenutzt wird. Wir kommen so zu demselben Problem, daß die Unterdrückung der Schließungsinduktionsströme bei dem Unterbrecherbetrieb darstellt.

Die früher beschriebene Bikathodenröhre (Seite 263) von Koch & Sterzel, Dresden, ist ein typisches Beispiel dieser Art, bei welcher auch die oben angeführten Schwierigkeiten, die aus dem Fortfall einer metallischen Verbindung der Antikathode mit dem positiven Pol des Induktors entstehen können, in sinnreicher Weise vermieden sind.

Wie wir bereits gesehen haben, weist nämlich eine solche Bikathodenröhre für den Stromdurchgang in normaler Richtung einen normalen Widerstand auf, setzt aber dem Stromdurchgang in entgegengesetzter Richtung einen wesentlich erhöhten Widerstand entgegen.

Tritt aber doch bei ganz weichen Röhren eine Erniedrigung der kritischen Spannung und eine Herabminderung der Ventilwirkung ein, so werden die von der inaktiven Kathode ausgehenden Kathodenstrahlen zu einem Bündel vereinigt und in den Metalltrichter gelenkt. Da weder dessen Metall zur Aussendung von Roentgenstrahlen geeignet ist, noch die etwa entstehenden Strahlen in der Richtung der normalen Roentgenstrahlen Nebenlichtwirkungen ausüben können, so ist eine solche Röhre unter allen Umständen frei von durch die entgegengesetzte Induktionsspannung erzeugtem Roentgenlicht. Man erhält also auf alle Fälle schärfste Bilder

auf dem Schirm und im Radiogramm. Der Anschluß der Bikathodenröhre erfolgt in der Weise, daß die beiden Pole der Hochspannungsquelle mit der aktiven und inaktiven Elektrode verbunden werden. Die Antikathode bleibt also unangeschlossen. Da aber der metallische Trichter ziemlich nahe bis an die inaktive Kathode heranreicht, so lassen schon die Gesetze über das Spannungsgefälle in verdünnten Gasen voraussagen, daß für die auszunutzende Stromrichtung zwischen Anode und Antikathode kein wesentlicher Prozentsatz der Gesamtspannung liegen kann. Tatsächlich ergibt auch eine experimentelle Prüfung, daß die maximal zu erzielende Funkenstrecke zwischen Anode und Antikathode nur wenige Millimeter beträgt.

Auch von anderen Firmen sind ähnliche Roentgenröhren mit Ventil-Charakter in den Handel gebracht worden.

Die Benutzung von Roentgenröhren mit Ventil-Charakter bezw. von normalen Roentgenröhren mit vorgeschalteten Ventilröhren führt schon zur zweiten Gruppe von Methoden über, die auf die Erzeugung gleichgerichteter, hochgespannter Induktionsströme abzielen.



Figur 478.

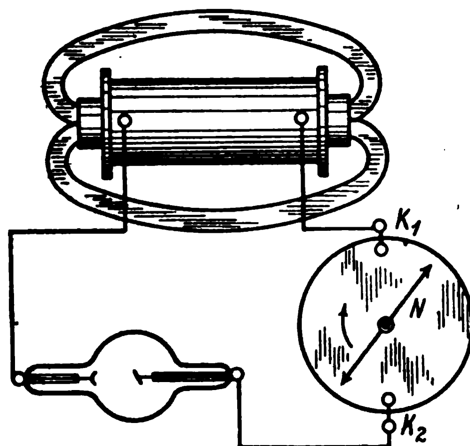
Die älteren Methoden, bei denen diese Gleichrichtung im primären Stromkreise unter Anwendung mechanisch oder elektrolytisch gesteuerter Gleichrichter in Verbindung mit einem Unterbrecher erfolgt und die wir früher kennen lernten, kommen hier nicht in Frage.

Hier kommen nur diejenigen Methoden in Betracht, die den primären Unterbrecher ganz vermeiden und bei denen die zum Betriebe der Roentgenröhre notwendige hohe Spannung lediglich durch die Schwankungen des primären Wechselstromes erzeugt wird.

An Stelle des gewöhnlichen Ruhmkorff'schen Funkeninduktors benutzt

man hierfür zweckmäßig den in der Wechselstromtechnik üblichen Transformatoren entsprechend, einen eisengeschlossenen Funkentransformator, wie er heute von vielen Firmen hergestellt wird. Figur 478 zeigt einen solchen Funkentransformator von Koch & Sterzel, Dresden. Derartige Funkentransformatoren liefern infolge passender Wahl der primären und sekundären Windungszahl schon bei sinusförmigen Stromschwankungen Funken von 30 cm Länge und mehr. Selbstverständlich wechselt die Stromrichtung dieser sekundären Funken genau so wie die in der primären Spule. Um also mit diesen hochgespannten Wechselströmen eine normale Roentgenröhre zu betreiben, muß man entweder die eine Phase derselben von der Röhre fernhalten oder beide Phasen in gleichem Sinne durch die Röhren fließen lassen.

Wir besitzen zwar in den Ventilröhren, deren Prinzip und Konstruktion wir früher ausführlich kennen lernten, eine einfache Vorrichtung, welche die eine Stromrichtung völlig zu unterdrücken gestattet.



Figur 479.

Das nächstliegende Verfahren, eine gewöhnliche Roentgenröhre mit Wechselstrom zu betreiben, bestand daher darin, derselben eine Ventilröhre vorzuschalten; allein bei dieser einfachen Serienschaltung ergeben sich mannigfache praktische Mängel, welche wohl hauptsächlich darauf zurückzuführen sind, daß die Ventilröhre übermäßig stark beansprucht wird. Man hat daher verschiedene andere Anordnungen getroffen, die eine Phase des hochgespannten Wechselstromes unwirksam zu machen bezw. beträchtlich zu schwächen. Die älteste Anordnung dieser Art Roentgenapparate ist zwar bereits in einem dem Amerikaner Lemp im Jahre 1897 erteilten Patent enthalten, praktische Bedeutung hat dasselbe aber erst durch die diesbezüglichen Arbeiten Koch's erlangt. Koch wandte zuerst einen rotierenden Hochspannungsgleichrichter an, bei welchem die Gleichrichtung des hochgespannten Wechselstromes mittels eines synchron umlaufenden Kontaktstückes bewirkt wird.

Die ursprüngliche Koch'sche Anordnung ist in Figur 479 schematisch und in Figur 480 in Ansicht dargestellt. Die Nadel *N*, welche durch einen

Synchronmotor angetrieben wird, rotiert synchron zu den Betriebsschwankungen des Wechselstromes und macht eine volle halbe Umdrehung bei jeder vollen Periode, so daß die zwischen den Kugeln K_1 und K_2 liegende Luftstrecke ihren Höchstwert immer in den Augenblicken besitzt, in denen die zu unterdrückende Induktionsspannung gerade ihren Scheitelwert einnimmt.

Dagegen liegt die Nadel N in den Zeiten, in denen die Spannung gewünschter Richtung, also die Nutzspannung, ihren Scheitelwert passiert, in der Richtung K_1 K_2, so daß die zwischen den Elektroden K_1 und K_2 liegende Luftstrecke bis auf wenige Millimeter überbrückt wird.

Die Entfernung der Elektroden K_1 und K_2 ist derart bemessen, daß die maximale Sekundärspannung des Transformators sie in Luft nicht zu überschlagen vermag.

Durch diese synchron zur Netzphase rotierende Nadel werden also der Roentgenröhre nur Hochspannungsstöße einer Richtung zugeführt, die Impulszahl ist der Periodenzahl gleich. Zur Herabdrückung der nicht ausgenutzten Spannungsrichtung und zur Vermeidung der durch letztere nicht ausgenutzten Spannungsausstrahlungen wird bei den neuen Apparaten der primären Wickelung des Transformators noch eine Ventilkapazität parallel geschaltet, auf deren Wirkungsweise wir weiter unten noch zurückkommen werden.

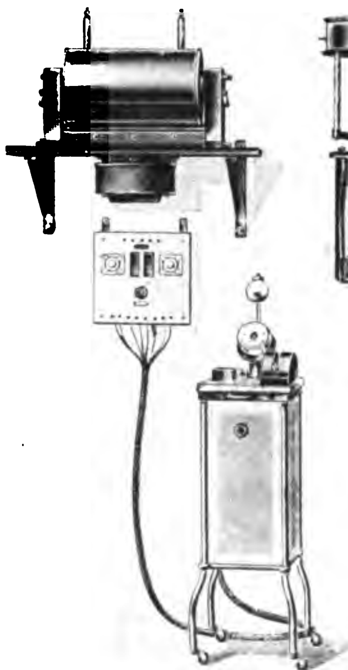

Figur 480.

Tatsächlich zeigen Roentgenröhren in Verbindung mit diesem System ein geradezu ideal ruhiges, streng geteiltes Licht.

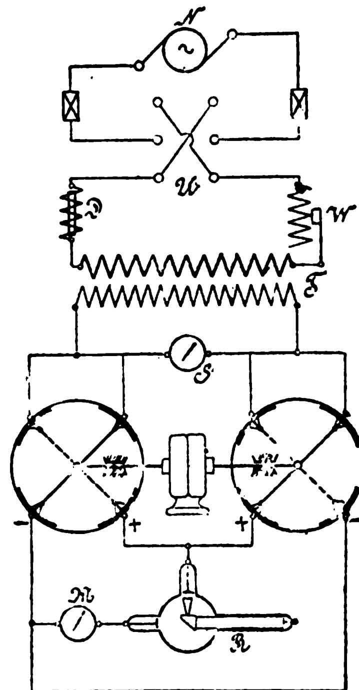
Figur 481 zeigt die Gesamtanordnung einer derartigen Anlage.

Später hat Koch an Stelle des einfachen Hochspannungsgleichrichters einen doppelten angewendet, um beide Wechsel der Hochspannung in gleichem Sinne durch die Roentgenröhre fließen zu lassen. Die Impulszahl ist dann gleich der Wechselzahl. Diese Anordnung zeigt Fig. 482 schematisch und Fig. 483 in Ansicht. Der Hochspannungsgleichrichter für vollständige Kommutation besteht aus zwei Systemen von Kontaktsegmenten, die in zwei Hartgummikapseln eingebaut sind. Durch einen Synchronmotor mit horizontaler Welle in Rotation versetzt, läuft innerhalb jeder der Kapseln ein mit Schleifbürsten armierter Kontaktarm um.

Infolge der synchronen Umlaufsgeschwindigkeit steht beispielsweise im Scheitel des positiven Wechsels das Armsystem in der stark eingezeichneten Stellung, während es im Scheitel des darauffolgenden negativen Wechsels sich in der punktierten Lage befindet. Wie aus dem Schema leicht zu ersehen ist, erhält die Roentgenröhre den einen (positiven) Wechsel direkt, den folgenden (negativen) Wechsel kommutiert zugeführt, also absolute Gleichstromimpulse hoher Spannung. *S* ist ein statischer Elektrometer zur Messung der Wechselspannung, *M* ein Milliamperemeter zur Kontrolle der Betriebsstromstärke.

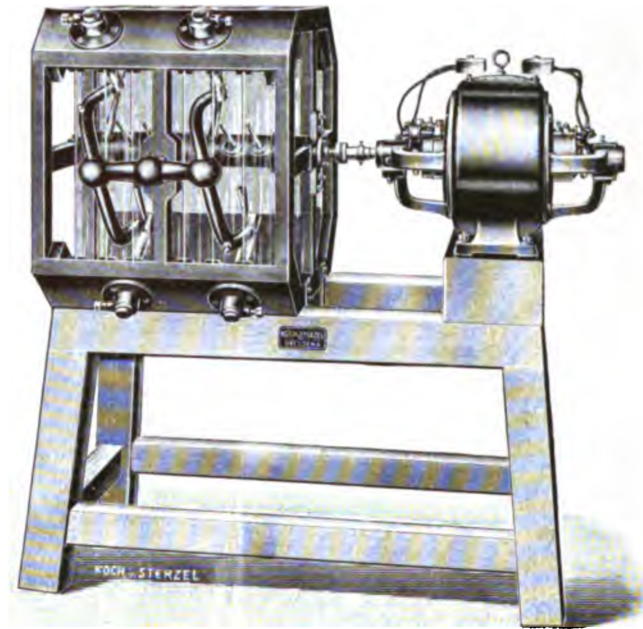


Figur 481.

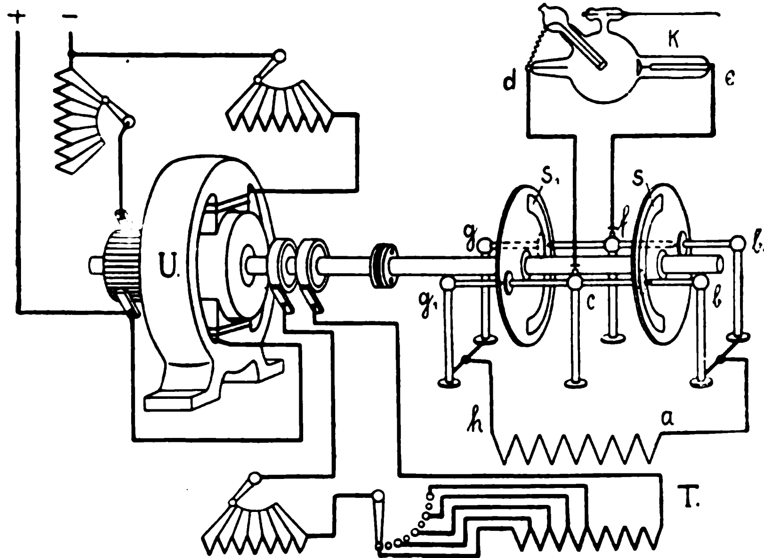


Figur 482.

Obwohl sich dieses Koch'sche System mit mechanischem Hochspannungsgleichrichter auch in der Praxis im allgemeinen bewährt hat, fiel es doch bald der Vergessenheit anheim, bis es im Jahre 1908 von dem Amerikaner Snook von neuem in die Roentgentechnik eingeführt und dann auch von zahlreichen anderen Firmen (Reiniger, Gebbert & Schall A.-G., Erlangen, Seifert & Co., Hamburg, Siemens & Halske A.-G., Berlin) ausgeführt wurde. Im folgenden sei der Ideal-Apparat der Reiniger, Gebbert & Schall A.-G. in Erlangen etwas ausführlicher beschrieben. (Vergl. die schematische Figur 484.). Der Netzgleichstrom wird zunächst in



Figur 483.

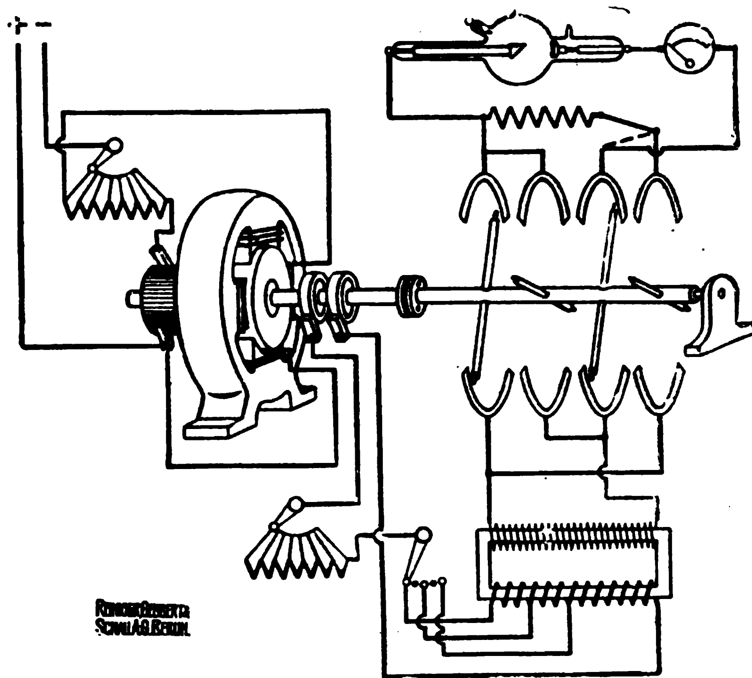


Figur 484.

dem zweipoligen Einankerumformer U in Wechselstrom verwandelt; dieser wird mittels des Hochspannungstransformators T auf die zum Roentgenröhren-Betriebe erforderliche Spannung (120 000 Volts) gebracht. Die Se-

kundärpole *a*, *h* stehen mit der Kommutier-Vorrichtung in Verbindung. Dieselbe besteht im wesentlichen aus zwei auf der Achse der Maschine befindlichen Isolationsscheiben, die je ein durchgehendes, nahezu halbkreisförmiges Metallsegment tragen, und einer Anzahl vor und zwischen den Scheiben angeordneten, möglichst nahe an dieselben herantretenden Stromabnahmevorrichtungen, über die der hochgespannte Wechselstrom so geleitet wird, daß der Stromübergang bald an der einen, bald an der anderen Stelle erfolgen muß, je nachdem ihm die rotierenden, gegeneinander um 180° versetzten Segmente den Uebergang gestatten.

Die Gleichrichtung wird bei Verfolgung der Leitungswege leicht verständlich. Nehmen wir an, daß in einem gewissen Zeitmoment *a* positiv



Figur 485.

sei, dann fließt der Strom über den Funkenständer *b* unter Ueberbrückung des nur wenige Millimeter langen Luftweges zum Segment *s* der rechten Scheibe, während ihm bei b_1 durch den isolierten Teil derselben der Weg verlegt ist. Vom Segment *s* springt der Strom wiederum als äußerst kurzer Funke auf den Ständer *c* über und durchfließt, da er an der linken Scheibe keine Fortleitung findet, die Roentgenröhre *K* (Anode *d*, Kathode *e*), um sodann über *f*, *s*, der zweiten Scheibe und *g* nach der negativen Klemme des Transformators zurückzukehren. Wechselt die Stromrichtung, wobei

sich gleichzeitig die Scheiben um 180° gedreht haben, und infolgedessen die Metallsegmente vor den Funkenständern g_1 und b_1 stehen, so geht der Strom von dem jetzt positiven Pol *h* über g_1, s_1, *c* durch die Röhre *d*, *e* nach *f*, *s*, b_1 zum negativen Pol *a* zurück.

In jedem Falle passiert also der Strom die Roentgenröhre in ein und derselben Richtung, Stromimpulse verkehrter Richtung sind daher vollkommen ausgeschlossen. In Figur 485 ist eine neuere Ausführungsform desselben Apparates dargestellt, welche sich von der vorhergehenden nur

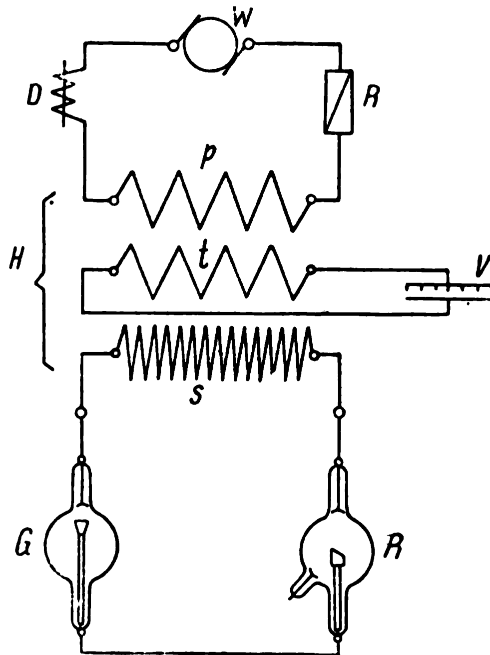


Figur 486.

durch eine vereinfachte Konstruktion des Hochspannungsgleichrichters unterscheidet. Mittels eines Umschalters kann man jeden zweiten Hochspannungsimpuls wirkungslos machen, indem man ihn über einen parallel zur Röhre liegenden Widerstand leitet. Das Instrumentarium (Figur 486) wirkt dann genau so wie der oben beschriebene Apparat, bei denen die Impulszahl gleich der Periodenzahl ist. K o c h hat noch einen andern Weg eingeschlagen, um den mechanisch arbeitenden Hochspannungsgleichrichter, der ohne Frage eine gewisse Komplikation der Anlage mit sich bringt, zu vermeiden. Die diesbezügliche Schaltung zeigt Figur 487.

W ist die Wechselstromquelle, *D* eine Drosselspule, *R* ein Regulierwiderstand.

Der Hochspannungstransformator *H* besitzt außer der primären Wickelung *p* und der sekundären *s* zur Gleichrichtung des hochgespannten Wechselstromes eine besondere Niederspannungswickelung *t*, die treffend



Figur 487.

als Schirmwickelung bezeichnet werden kann. Die Enden derselben sind an eine elektrolytische (Grätz'sche) Eisen-Aluminium-Zelle *V* (vergl. Figur 488) angeschlossen, welche die bekannte Eigenschaft besitzt, nur die eine Phase eines Wechselstromes durchfließen zu lassen, die entgegengesetzte Phase dagegen vollständig abzusperren.



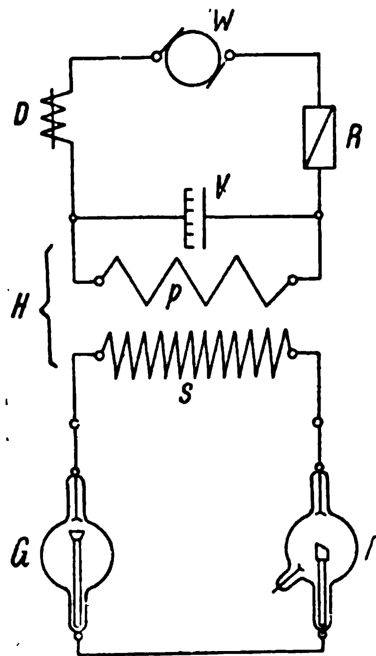
Figur 488.

Da nun der durch die Primärspule fließende Wechselstrom nicht allein auf die Sekundärspule, sondern auch auf die Schirmwickelung induzierend wirkt, so wird in derselben ein Wechselstrom hervorgerufen, dessen Spannung den Windungsverhältnissen von Primär- und Schirmwickelung entsprechend verhältnismäßig niedrig ist.

Bei einem Kurzschluß der Schirmwickelung, welcher praktisch dann eintritt, wenn die elektro-

lytische Zelle Strom passieren läßt, wird durch die Gegenamperewindungen der Schirmwickelung die Induktion nach der Sekundärspule aufgehoben, die Primärinduktion der Pimärspule wird fast Null und der ganze Transformator wird praktisch stromlos (Fehlwechsel). Der größte Teil der primären Klemmenspannung liegt dann an der vorgeschalteten Drosselspule.

Wirkt dagegen die Aluminiumzelle bei der entgegengesetzten Stromrichtung als Ventil, so spielt die Schirmwickelung gar keine Rolle und die sekundäre Wickelung des Hochspannungstransformators erhält in dieser Zeit Spannung (Nutzwechsel).



Figur 489.

Gewissermaßen nimmt also die Roentgenröhre nur den Strom gewünschter Richtung auf, während die Aluminiumzelle den Strom ungewünschter Richtung absorbiert.

Bei günstigen Verhältnissen kann die durch die Ventilzelle fließende Stromstärke außerordentlich klein gemacht werden, so daß die in der Aluminiumzelle verbrauchte Energie außerordentlich niedrig ist. In diesem Falle tritt eine Erwärmung des Elektrolyten der Zelle nicht auf, so daß eine einmalige Füllung längere Zeit ausreicht und eine besondere Wartung seitens des Gebrauchers nicht erforderlich ist.

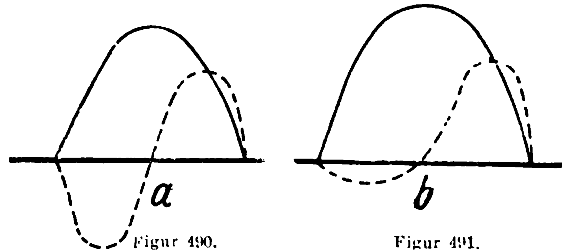
Später hat Koch die Einrichtung noch dadurch vereinfacht, daß er die Ventilzelle unter Umgehung der Schirmwickelung direkt der Primärspule parallel schaltete (Figur 489). Die Wirkungsweise ist hier genau die gleiche, wie bei der Anordnung mit getrennter Schirmwickelung.

Für den Fehlwechsel, bei dem die Zelle Leiter ist, tritt ein beträchtlicher Spannungsabfall an den Klemmen der Primärspule p ein, so daß auch sekundär eine beträchtliche Ungleichheit der Spannungen in beiderlei Richtungen erzeugt wird.

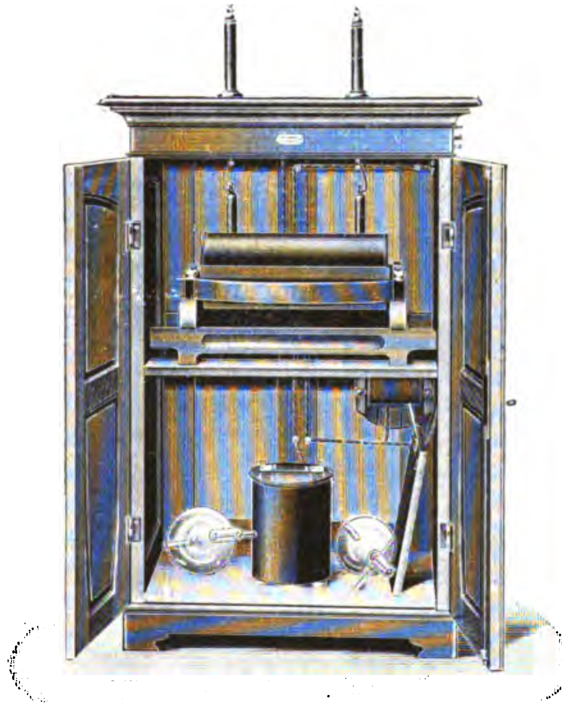
Man kann sich nach Koch die Verhältnisse in folgender Weise graphisch klar machen. Senden wir eine halbe Sinuswelle durch eine Selbstinduktion, so messen wir an dieser eine gewisse Reaktanzspannung. Nehmen wir an, daß der Ohm'sche Widerstand der Selbstinduktionsspule außerordentlich klein ist, so daß wir die an den Klemmen dieser Spule in Form einer Gleichspannung auftretende Spannungsstauung vernachlässigen

können, so haben wir bei der Speisung der Selbstinduktionsspule mit einer halben Sinuswelle eine Spannungsform, wie sie in Figur 490 unter *a* punktiert gezeichnet ist.

Nun überbrückt aber die Ventilzelle die beiden Klemmen der Primärspule. Sie bewirkt also auch für die Reaktanzspannung in der einen Richtung annähernd einen Kurzschluß. Wir erhalten also infolge der Ven-



Figur 490. Figur 491.

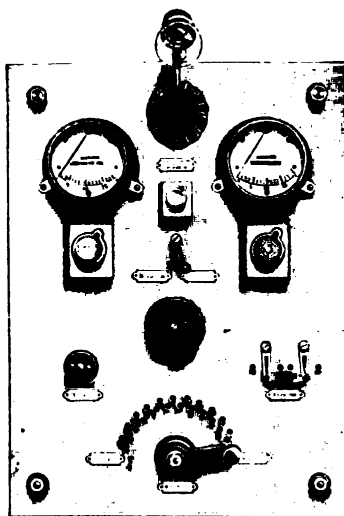


Figur 492.

tilwirkung primär eine Reaktanzspannung, wie in Figur 491 unter *b* dargestellt.

Dieser Reaktanzspannung entspricht naturgemäß der Spannungsverlauf an den Sekundärklemmen des Hochspannungstransformators. Man erhält also sekundär eine starke Spannungsungleichheit, welche nach Koch

insofern sogar günstiger ist als die sekundäre Spannungsungleichheit beim Funkeninduktor, als auch die energetische Symmetrie zwischen Nutzwechsel und Fehlwechsel in diesem Falle zugunsten des Nutzwechsels gestört ist.



Figur 493.

Weiter führte Koch noch eine wesentliche Vervollkommnung seines Systems dadurch herbei, daß er die nicht unbeträchtliche Kapazität der Ventilzelle („Ventilkapazität") durch geeignete Größenbemessung der Aluminium-Elektrode so abstimmte, daß dieselbe während des Nutzwechsels, also bei der Ventilwirkung der Zelle, mit der Selbstinduktion des Speisestromkreises durch Resonanz (Richtungsresonanz) eine erhebliche Steigerung der Primärklemmenspannung herbeiführt, wodurch eine weitere Erhöhung der Nutzspannung an den sekundären Klemmen des Transformators erzielt wird. Im Fehlwechsel dagegen fällt erstens, wie wir gesehen haben, durch Kurzschluß der Primärspule, zweitens durch vollständige Abdrosselung des Stromes durch die Drosselspule, die Sekundärspannung nahezu auf Null ab.

Die Richtungsresonanz von Selbstinduktion der Drosselspule und Kapazität der Ventilzelle bringt also in der einen Richtung die erhebliche Spannungssteigerung, in der anderen Richtung erzeugt sie gerade den wünschenswerten abnormen Spannungsabfall.

Zur endgültigen Sicherung des Gleichstrom-Effektes wird endlich noch der schon früher beschriebene Vakuum-Hochspannungs-Gleichrichter (siehe Figur 487 und 489) angewendet.

Transformator, Ventilzelle und Drosselspule sind in einem gemeinsamen Schrank (Figur 492), welcher auf einer Deckplatte die Hochspannungs-Elektroden trägt, untergebracht. Das Tableau ist an der Wand befestigt (Figur 493).

Das Roentgenlicht derartiger Einrichtungen ist außerordentlich regulierfähig und auffällig ruhig. Die Expositionszeiten sind bei Anwendung mittelharter Röhren außerordentlich kurz.

In außergewöhnlichen Fällen können die Beleuchtungszeiten allerdings unter erhöhter Beanspruchung der Röhre noch wesentlich abgekürzt werden. Die Einrichtung besitzt keinerlei bewegte Teile und arbeitet demzufolge auch nur mit einem kaum hörbaren Geräusch, welches bei weichen Röhren fast ganz verschwindet.

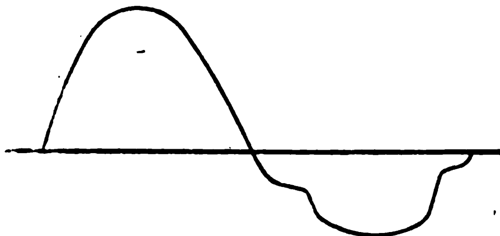
Die praktischen Ergebnisse, die mit den nach K o c h - S t e r z e l' schem System arbeitenden Roentgenapparaten erzielt wurden, sind vorzüglich zu nennen.

Im Anschluß hieran wollen wir ein ähnliches, von Dr. M a x L e v y, Berlin, ausgebildetes System kennen lernen, bei welchem ebenfalls eine elektrolytische Zelle verwendet wird. L e v y nennt dieselbe K u r v e n w a n d l e r (Figur 494). Dieser ist mit der Primärspule des Hochspannungstransformators, der hier die Bauart normaler Induktoren, d. h. offenen Eisenkern besitzt, in Serie geschaltet.



Figur 494.

Man muß sich bei der Vorstellung der Wirkungsweise dieses Systems von dem Gedanken frei machen, daß etwa der Primärspule, entsprechend der von dem Gleichrichter durchgelassenen Phase, eine halbe Sinuswelle zugeführt wird. Denn eine solche würde sekundär, wie wir schon in Figur 490 gesehen haben, doch einen symmetrischen Wechselstrom hervorrufen. Die wahre Wirkungsweise beruht vielmehr auf der schon oben gestreiften Erscheinung der Richtungsresonanz. Diese bewirkt, wie auch oszillographische Aufnahmen zeigen, eine derartige Veränderung der Wechselstromkurve, daß dieselbe hinsichtlich der Schnelligkeit und Gleichmäßigkeit des Anstiegs bezw. Abfalls der Kurve unsymmetrisch wird. Hierdurch ergeben sich in der sekundären Wickelung des mit diesem deformierten Wechselstrom betriebenen Transformators Unterschiede in den Spannungen für die beiden Stromrichtungen. Diese Unterschiede betragen bei richtiger Bemessung der Ventilkapazität bis zu zirka 45 %, d. h. während z. B. der Schließungsfunke 17 cm beträgt, beläuft sich der Oeffnungsfunke auf ca. 30 cm. Verfasser hat früher den entsprechenden in der Sekundärspule eines Transformators auftretenden Stromstärkenverlauf mittels G l i m m l i c h t - O s c i l l o g r a p h e n aufgenommen. Abbildung 2 der Tafel zeigt eine derartige Aufnahme. Die maximalen Amplituden für die beiden Stromrichtungen sind hierbei allerdings nur unwesentlich verschieden.

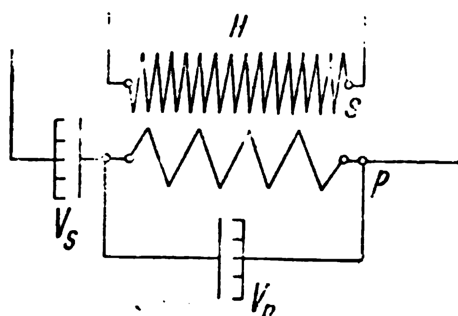


Figur 495.

In Figur 495 endlich ist eine bei einem L e v y ' s c h e n H o c h s p a n n u n g s t r a n s f o r m a t o r mit K u r v e n w a n d l e r im rotierenden Spiegel beobachtete Stromkurve wiedergegeben, die die Unsymmetrie beider Phasen deutlicher erkennen läßt. Die Spannungen in der

falschen Richtung, die bei dem Levy'schen System etwa die gleiche Größe wie bei dem normalen Unterbrecherbetrieb erreichen, werden durch geeignet konstruierte Roentgenröhren bezw. durch Vorschaltung von Drosselröhren oder dergl. unschädlich gemacht.

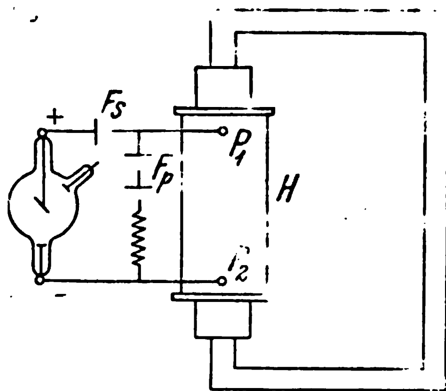
Eine Kombination der Koch-Sterzel'schen und der Levy'schen Ventilzellenschaltung scheint die von Siemens & Halske A.-G., Berlin, durch Gebrauchsmuster Nr. 259 959 (Klasse 21 g) geschützte Anordnung darzustellen, bei der in der aus Figur 496 ersichtlichen Weise zwei Ventilzellen angewendet werden, von denen eine der primären Spule parallel, die andere mit dieser in Serie geschaltet ist.



Figur 496.

Gehen wir nun von den Anordnungen, bei denen die Gleichrichtung durch eine primär eingeschaltete Ventilzelle erfolgt, wieder zu den Methoden über, bei denen die hochgespannten Ströme gleichgerichtet werden, wie bei dem ursprünglichen Koch'schen System.

Im Gegensatz zu diesem wird aber bei den nachfolgend angeführten Methoden die Fernhaltung der verkehrten Phase bezw. die Gleichrichtung durch einfache und feststehende Apparate bewirkt.



Figur 497.

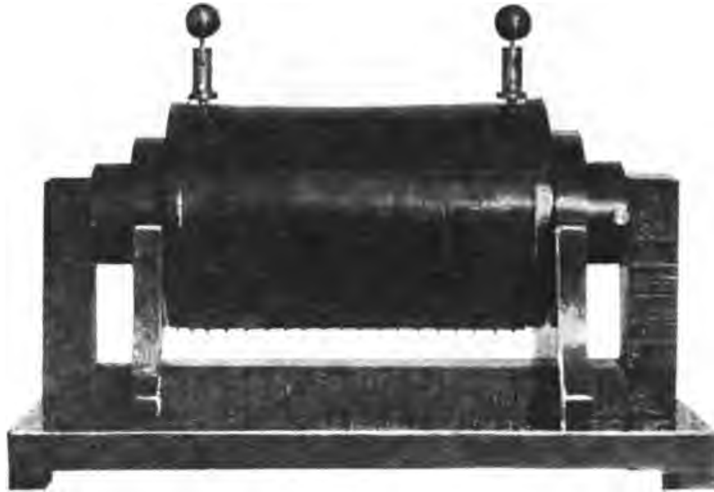
Zunächst sei ein von Walter ausgearbeitetes und von Seifert & Co., Hamburg, ausgeführtes System erläutert, welches zwei symmetrische, aus Spitze und Platte gebildete Funkenstrecken benutzt, von denen — wie Figur 497 zeigt — die eine *Fp* (deren Länge in der Regel nur einige Millimeter beträgt) parallel, die andere *Fs* (von einigen Zentimetern Länge) in Serie mit der Roentgenröhre geschaltet ist.

Betrachten wir zunächst die Wirkung der beiden Funkenstrecken, so beruht dieselbe auf der bekannten Tatsache, daß der Potentialausgleich durch die Luft begünstigt wird, wenn die Spitze positiv und die Platte negativ ist. Durch die angewendete Schaltung nehmen diejenigen Phasen des hochgespannten Wechselstromes, bei denen der Pol P_1 des Hochspan-

nungstransformators *H* negativ ist, ihren Weg nicht über die Roentgenröhre *R*, sondern über die ihr parallel geschaltete Funkenstrecke bezw. Funkenstrecken, während die Phasen der anderen Richtung zur Speisung der Roentgenröhre dienen.

Um das Geräusch der parallel geschalteten Funkenstrecken *Fp* zu vermeiden bezw. eine Lichtbogenbildung, welche auch die Nutzphase passieren lassen würde, zu verhindern, ist in diesem Parallelkreis noch ein Widerstand *W* von einigen Millionen Ohm eingeschaltet, welcher den Funken statt des knallenden Geräusches einen dem Ohre durchaus nicht unangenehmen Ton gibt.

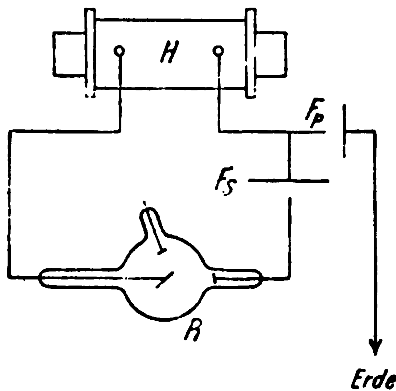
Der benutzte Funkentransformator besitzt einen einseitig geschlossenen Eisenkern, der gleichzeitig als Stütze der Spulen dient, ähnlich wie der in Figur 498 abgebildete Apparat.



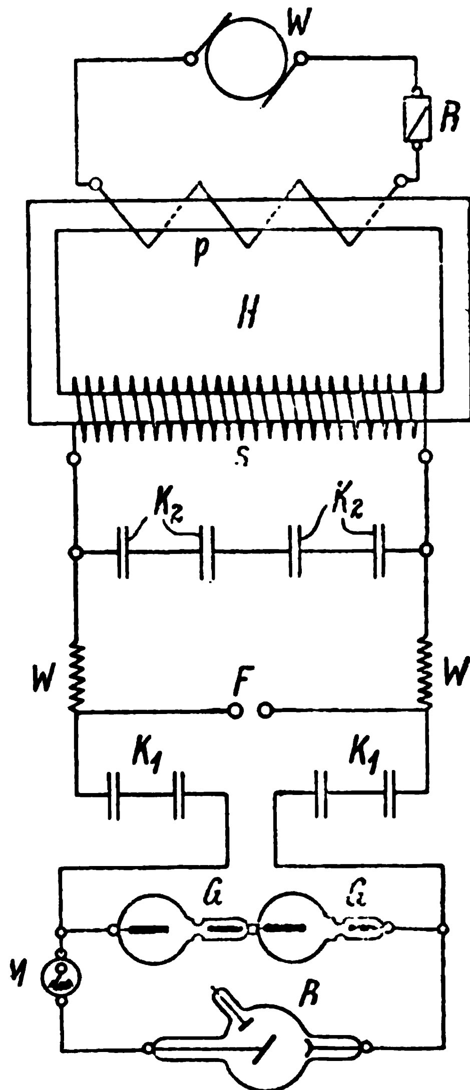
Figur 498.

Sehr ähnlich ist die ebenfalls mit Funkenstrecken arbeitende Methode von Dr. Max Levy, Berlin (Figur 499), die auf dem Roentgenkongreß Berlin 1905 vorgeführt wurde.

Vor die Roentgenröhre ist, wie bei der Walter'schen Anordnung, eine variable, aus Spitze und Platte bestehende Funkenstrecke geschaltet. Der Fehlwechsel dagegen soll nicht unmittelbar ausgeglichen werden, sondern es wird eine Ableitung des falsch gerichteten Potentials durch Erdung des einen Sekundärleiters über eine zweite, umgekehrt angeordnete Funkenstrecke angestrebt. Ob hierdurch eine Resonanzabstimmung des Induktors und infolgedessen eine günstigere Ausnutzung desselben erzielt werden kann, wie Levy angibt, erscheint fraglich.



Figur 199.



Figur 200.

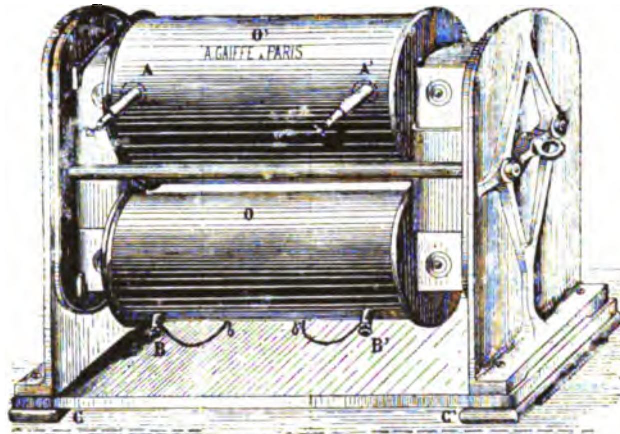
Die beiden Funkenstrecken sind in einem sogenannten Stromspalter vereinigt und erfolgt die Regulierung beider Funkenstrecken durch Drehung beziehungsweise Verschiebung e i n e s Griffes.

Der Nachteil aller mit Funkenstrecken-Gleichrichter arbeitenden Methoden besteht in dem Funkenstrecken-Geräusch und der lästigen Entwickelung von Ozon bezw. salpetriger Säure. Außerdem ist eine beständige Regulierung der Funkenstrecken erforderlich, da die Werte der Ueberschlagwiderstände dem jeweiligen, bekanntlich sich bei längerem Betrieb wesentlich verändernden Zustand der Roentgenröhre angepaßt werden müssen.

Das mit diesen Anordnungen erzielte Roentgenlicht ist auch bedeutend unruhiger als bei jenen ohne Funkenstrecke arbeitenden. Um diese Uebelstände zu mildern, ist von verschiedenen Seiten die Benutzung von Ventil- oder Drosselröhren an Stelle der Funkenstrecken vorgeschlagen worden.

Diese mit Ventilröhren-Gleichrichtung arbeitenden Systeme bilden die letzte Gruppe der unterbrecherlosen Roentgenmethoden.

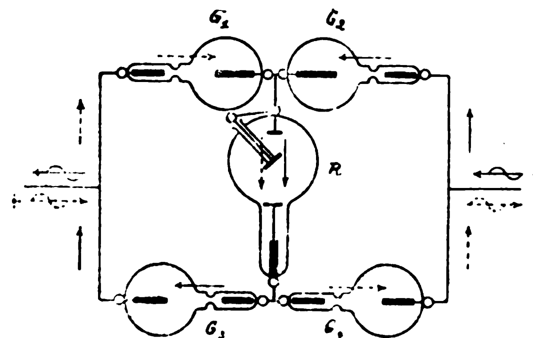
Zunächst sei die von G. Gaiffe, Paris, verwendete Anordnung (Figur 500) angeführt. Auch bei dieser wird ein eisengeschlossener Hochspannungstransformator benutzt (vergl. Figur 501). Die bei Koch vorgeschaltete Drosselspule ist durch Jochbewickelung des Transformators ersetzt. Ebenso wie bei jener findet also Leistungsbegrenzung und Spannungserhöhung durch Resonanz statt. Die Gleichrichtung für Roentgenzwecke wird nach dem Vorschlage von Villard durch Parallelschaltung zweier in Serie geschalteter Ventilröhren G zur Roentgenröhre R bewirkt.



Figur 501.

Interessant ist an der Gaiffe'schen Anordnung noch die Benutzung von Kondensatoren, um auch gleichzeitig Hochfrequenzströme erzeugen zu können. Um in diesem Falle die schnellen Schwingungen, welche leicht beträchtliche Spannungserhöhungen hervorrufen können, vom Transformator abzuhalten, sind parallel zur sekundären Wicklung s des Hochspannungstransformators Hilfskondensatoren K_2 und in den Speiseleitungen der Hauptkondensatoren K_1 bezw. der Funkenstrecke F Flüssigkeitswiderstände W eingeschaltet.

Während bei diesem System nur eine Phase des hochgespannten Wechselstromes zur Speisung der Roentgenröhre ausgenutzt wird, hat Ruhmer ebenfalls unter Benutzung von

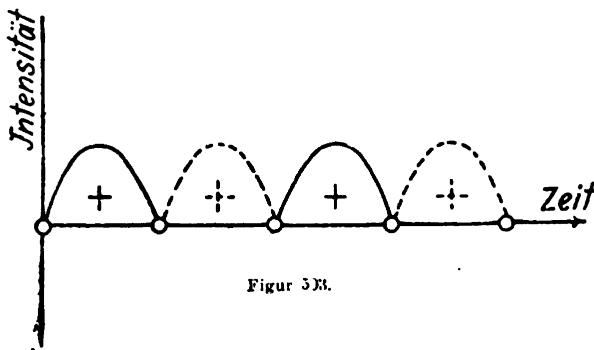


Figur 502.

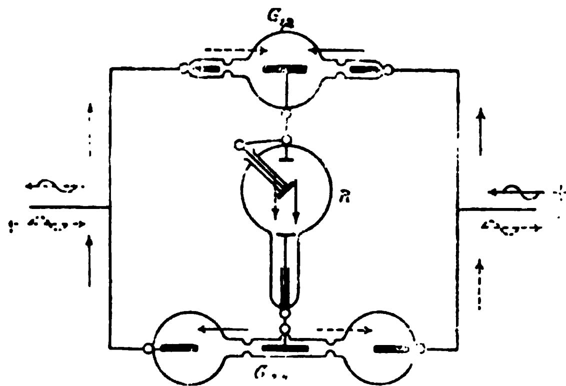
Ventilröhren ein anderes System ausgearbeitet, bei welchem beide Phasen nutzbringend angewendet werden.

Diese Anordnung stellt gewissermaßen eine Uebertragung der bekannten Graetz'schen Schaltung bei niedergespanntem Wechselstrom für solchen hoher Spannung dar und ist in Figur 502 schematisch dargestellt.

Die eine Phase des Wechselstromes fließt über die Ventilröhren G_1 und G_4, die andere Phase über G_2 und G_3, so daß in dem Verbrauchsstromkreis, in dem die Roentgenröhre R eingeschaltet ist, intermittierender Gleichstrom vorhanden ist, wie Figur 503 schematisch darstellt.



Figur 503.



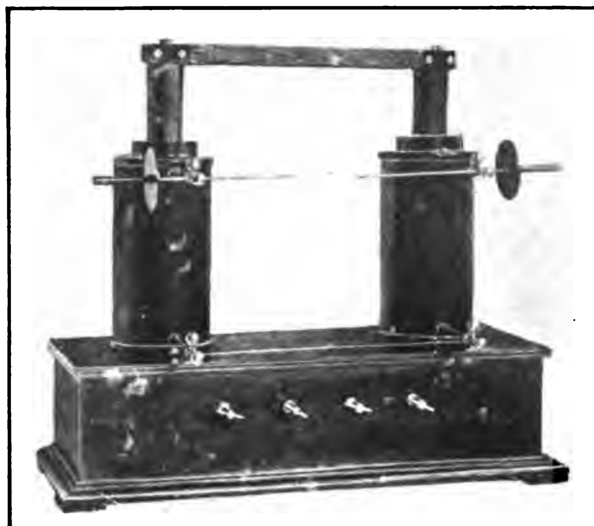
Figur 504.

Bei der praktischen Ausführung kommen an Stelle von 4 Drosselröhren nur 2 Doppeldrosselröhren, die von Emil Gundelach in Gehlberg geliefert werden, zur Anwendung (Figur 504). Dieselben sind in einem gemeinsamen mit 4 Klemmen versehenen Kasten eingebaut; zwei Klemmen werden mit der Roentgenröhre, die beiden anderen mit dem Funkentransformator verbunden (Figur 505).

In den Figuren 506—508 sind noch einige mittels Glimmlicht-Oscillographen aufgenommene Stromkurven reproduziert, die die Wirkungsweise der beschriebenen Schaltung näher erläutern.

Abbildung 476 auf Seite 355 zeigt die im sekundären Kreise des Hochspannungstransformators fließende Wechselstromkurve.

In Abbildung 506 ist die in einem Zweig (z. B. G_1 und G_4) der Anordnung fließende Stromkurve dargestellt. Wie man deutlich erkennt, lassen die Ventilröhren tatsächlich nur eine Phase des Wechselstromes



Figur 505.

passieren, die andere fällt vollständig fort und kommt im anderen Zweig (G_2 — G_3) der Schaltung zum Ausgleich.

Abbildung 507 endlich gibt die Stromkurve im Nutzstromkreise wieder. Die negativen Phasen, die zur besseren Uebersicht künstlich kleiner gemacht wurden, sind gewissermaßen um die Nullinie als Achse umgeklappt.

Die größeren Zwischenräume zwischen den aufeinanderfolgenden Phasen rühren daher, daß die Glimmlicht-Oscillographenröhre erst oberhalb einer gewissen Spannung anspricht.



Figur 506.

Hochgespannter undulierender Gleichstrom, mittels einer Ventilröhre, die nur Phasen einer Richtung durchläßt, aus hochgespanntem Wechselstrom erhalten.



Figur 507

Hochgespannter undulierender Gleichstrom, mittels vier Ventilröhren in Graetz'scher Schaltung aus hochgespanntem Wechselstrom erhalten. Die in Figur 506 unterdrückten Phasen sind hier gleichgerichtet.

Während die obigen Aufnahmen bei kurzgeschlossener Roentgenröhre gemacht wurden, veranschaulicht Abbildung 508 den Stromverlauf im Nutzstromkreise bei eingeschalteter Roentgenröhre. Entsprechend dem Charakter der letzteren als Durchbruchswiderstand ist jetzt Anstieg und Abfall der Kurve ungleichartig.

Da sich bei der von Ruhmer benutzten Anordnung beiden Phasen ein gleich gangbarer Weg bietet, so findet eine starke Abnutzung bezw. Beanspruchung der Drosselröhren nicht statt, im Gegensatz zu jenen Systemen, bei denen der Drosselröhre die Aufnahme einer (nämlich der



Figur 508.

Hochgespannter undulierender Gleichstrom bei Einschaltung einer Roentgenröhre, mittels vier Ventilröhren in Graetz'scher Schaltung aus hochgespanntem Wechselstrom erhalten.

zu unterdrückenden) Phase zufällt. Außerdem treten keinerlei oszillatorische Entladungen auf, so daß das Licht der Roentgenröhre unerreicht ruhig ist.

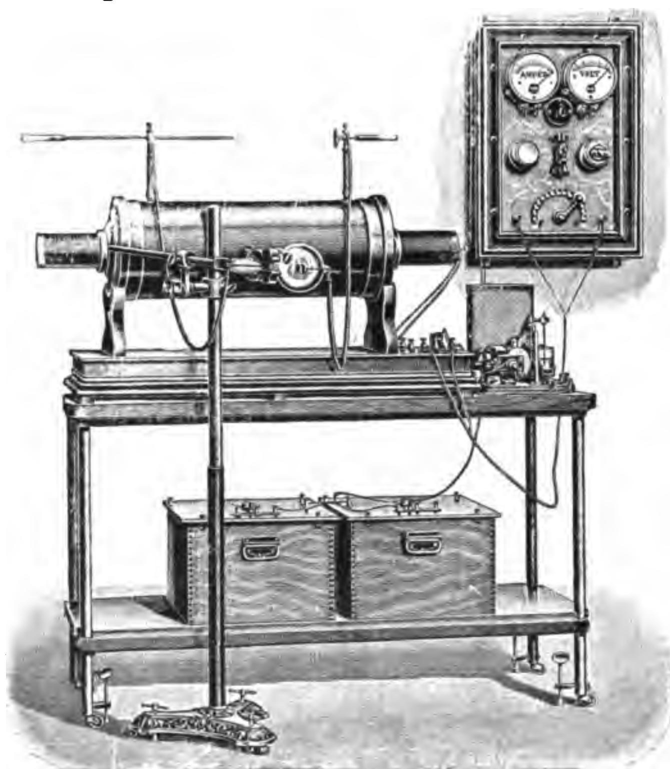
Anmerkend mag an dieser Stelle noch darauf hingewiesen werden, daß das von vielen Aerzten der Wirkung der Drosselröhren im allgemeinen entgegengebrachte Mißtrauen durchaus unberechtigt ist. Auch bei Gleichstrombetrieb bilden diese Röhren ein vorzügliches Hilfsmittel, um die die Lebensdauer der Roentgenröhre herabsetzenden Schließungsströme von diesen fernzuhalten.

Ohne Zweifel bieten die angeführten, mit Ventil-Gleichrichtung arbeitenden Systeme mancherlei Vorteile vor jenen mit Funkenstrecken-Gleichrichtung, wenn sie auch gegenüber letzteren den Nachteil geringerer Regulierbarkeit aufweisen.

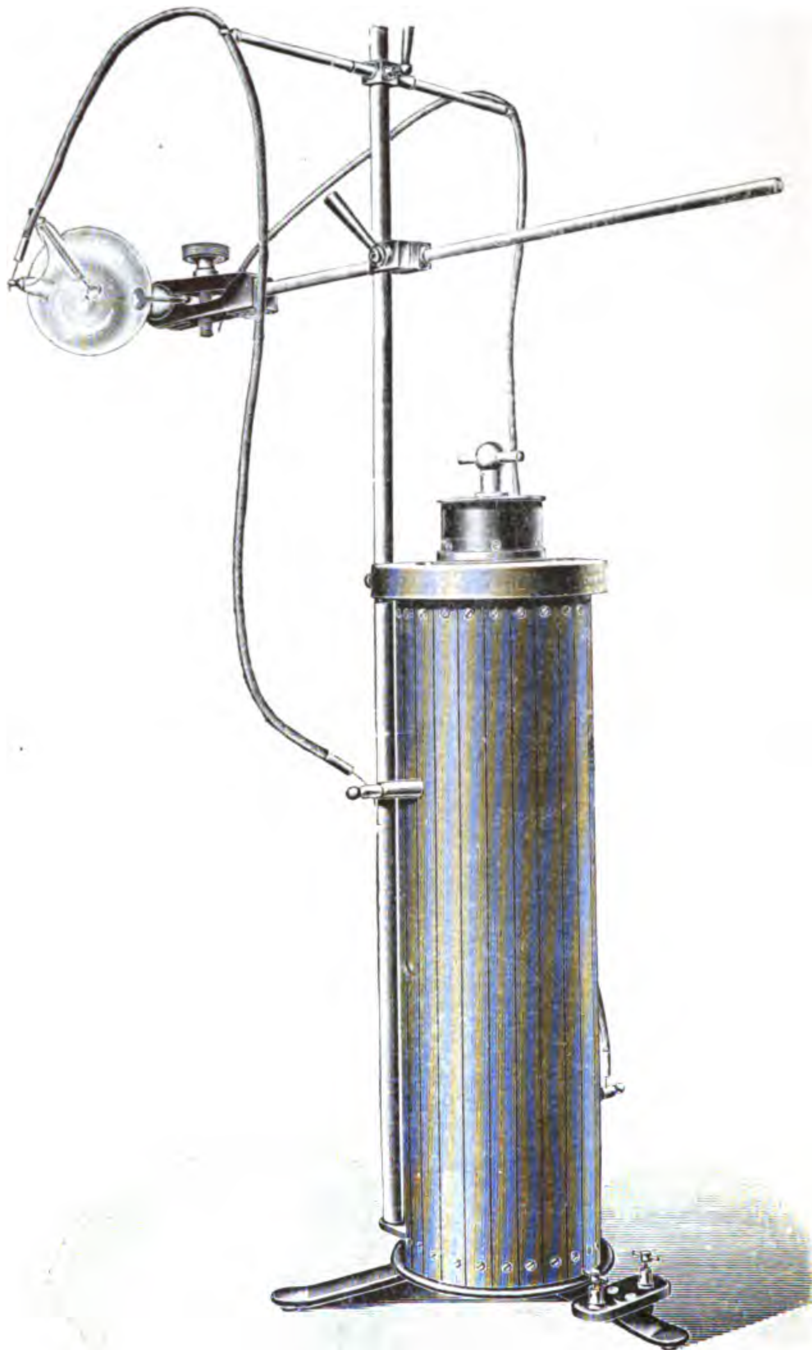
Dreiundzwanzigstes Kapitel.

Roentgen-Einrichtungen.

Die kompletten Einrichtungen zur Erzeugung von Roentgenstrahlen schließen sich eng an die bereits früher beschriebenen Instrumentarien zum



Figur 509.



Figur 510

Betriebe von Induktoren an (vergl. Seite 217 bis 222). Es treten nur noch die Roentgenröhre, das Stativ und die vorher beschriebenen Nebenapparate hinzu. Figur 509 stellt z. B. ein solches komplettes Instrumentarium mit Akkumulatorenbetrieb dar. Die Roentgenröhre auf Stativ ist mittels Hochspannungskabeln angeschlossen; die Nebenapparate sind auf einer Schalttafel vereinigt. Derartige Einrichtungen werden von Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., in Erlangen geliefert.

Figur 510 zeigt eine interessante Kombination von Induktor und Röhrenstativ eines einfachen Instrumentariums für Gleichstromunterbrecherbetrieb der Firma Hans Boas in Berlin.

Erwähnt sei hier auch das Eresco-Säuleninstrumentarium der Firma Rich. Seifert & Co. in Hamburg (Figur 511), bei dem alle Apparate von einer auf einer leicht fahrbaren Grundplatte angeordneten Säule getragen werden. Zum Betrieb dient ein Quecksilbergasunterbrecher, der auf dem quadratischen Fuß des Apparates steht.

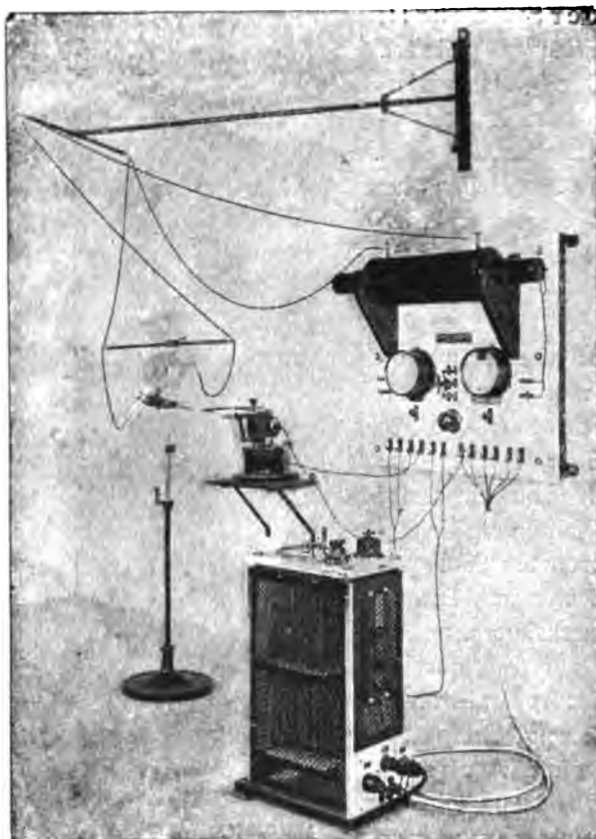


Figur 511.

Figur 512 zeigt eine Einrichtung für Wechselstromanschluß, wie sie von der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft in Berlin hergestellt wird. Der Induktor ist mit den Meßinstrumenten gemeinsam auf einer Wandtafel angebracht, während die erforderlichen Regulierwiderstände und der Ausschalter in einem Tisch untergebracht sind. Der Wechselstrom-Turbinen-Unterbrecher (vergleiche Seite 160) ist auf einer Wandkonsole, die Roentgenröhre auf einem Bodenstativ befestigt. Besondere Sorgfalt ist auf die Zuführungsleitungen des Hochspannungsstromes vom Induktor zur Roentgenröhre verwendet. Die

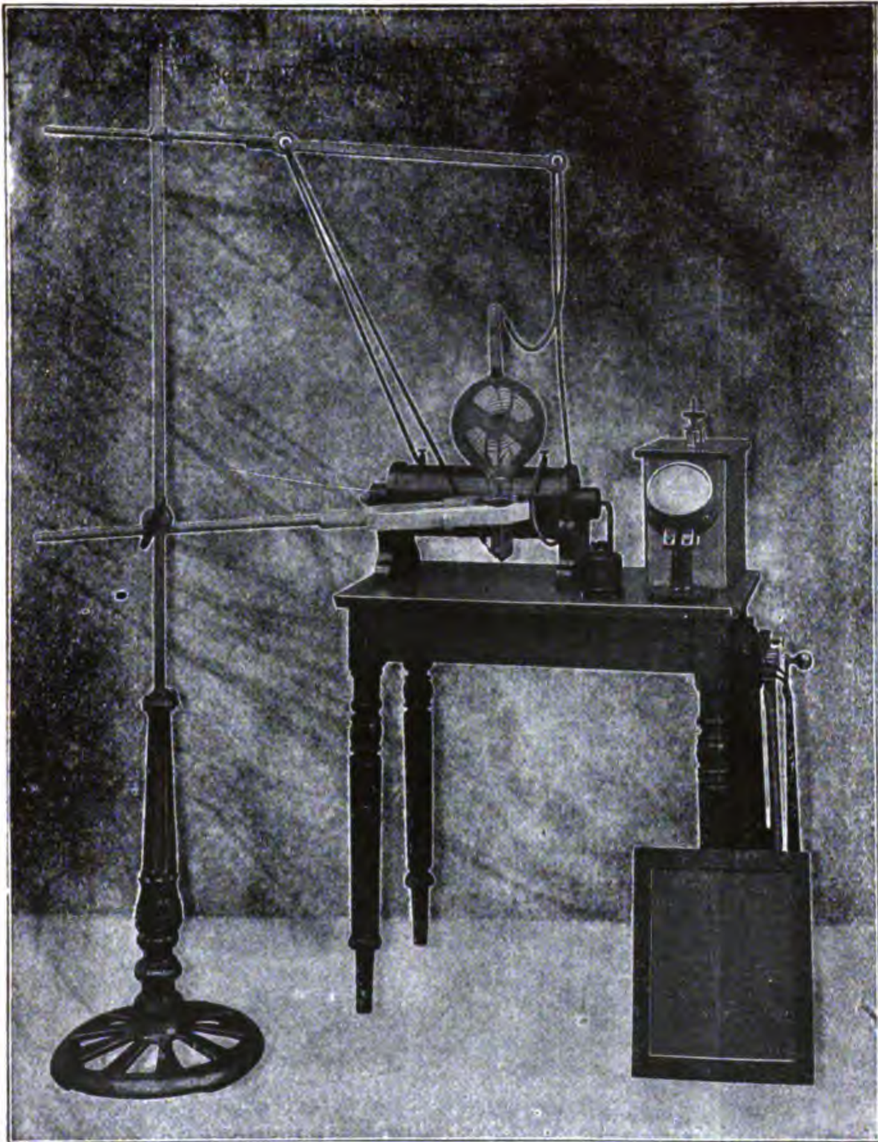
Schalttafel ist mit einer Einrichtung versehen, um Akkumulatoren mittels des Wechselstrom-Turbinen-Unterbrechers laden zu können.

Verhältnismäßig einfach gestaltet sich die Einrichtung bei Anwendung eines einfachen Flüssigkeits-Unterbrechers ohne Walter-Schaltung, wie solche von Max Kohl, A.-G., Chemnitz, geliefert wird und in Figur 513 dargestellt ist. Diese



Figur 512.

Einrichtung, welche mit einem einfachen Wehnelt-Unterbrecher und unter Benutzung nur einer Primärspulenwicklung ausgestattet ist, stellt sich im Preise außerordentlich billig, ebenso wie die von Dr. Max Levy, Berlin, in den Handel gebrachte billige Roentgeneinrichtung, welche mit einem Plättchen-Unterbrecher ausgestattet ist und damit, wie an anderer Stelle auseinandergesetzt wurde, in weiten Grenzen



Figur 513.

variabel ist und allen Anforderungen genügen dürfte, die an eine Roentgeneinrichtung gestellt werden können.

Das gleiche kann in viel vollkommener, allerdings auch viel komplizierterer Weise mit einem mehrteiligen Wehnelt-Unterbrecher und einer Primärspule mit variabler Selbstinduktion erreicht werden (Walter-Schaltung).

Figur 514 (a und b) zeigt ein Instrumentarium dieser Art von Rich. Seifert & Co., Hamburg, mit auf einer Bleischutzwand angeordnetem Induktor. Die Rückseite der Wand trägt die Wandschalttafel mit an-

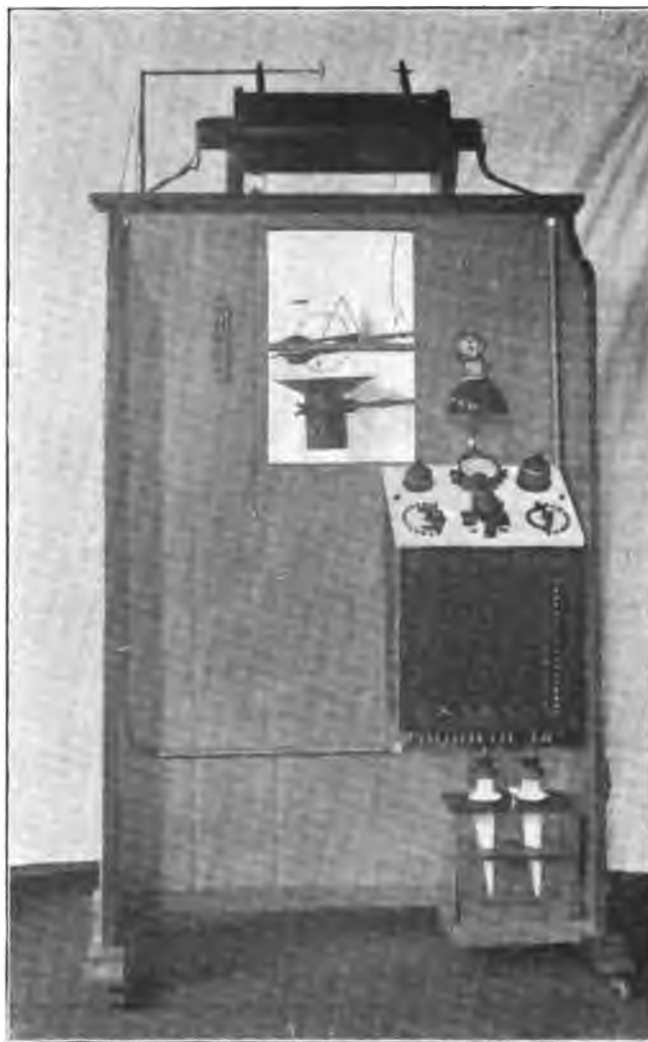


Figur 514 a.

gebrachtem Pachytrop zur 6fachen Aenderung der Selbstinduktion der Primärspule und einem Umschalter für den 2fachen Stift-Unterbrecher.

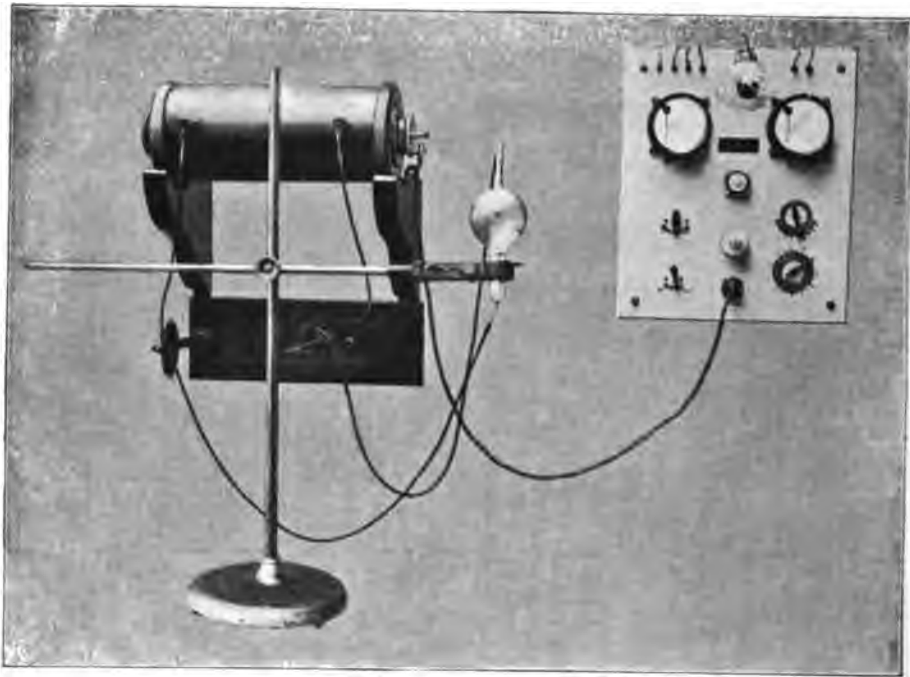
In Figur 515 ist eine ähnliche Roentgeneinrichtung von Siemens &

Halske A.-G. in Berlin mit Funkeninduktor für 40 cm Funkenlänge auf Konsole, dreiteiligem Wehnelt-Unterbrecher und der auf Seite 204 bis 206 bereits beschriebenen Schalttafel (vergl. Figur 294) abgebildet.

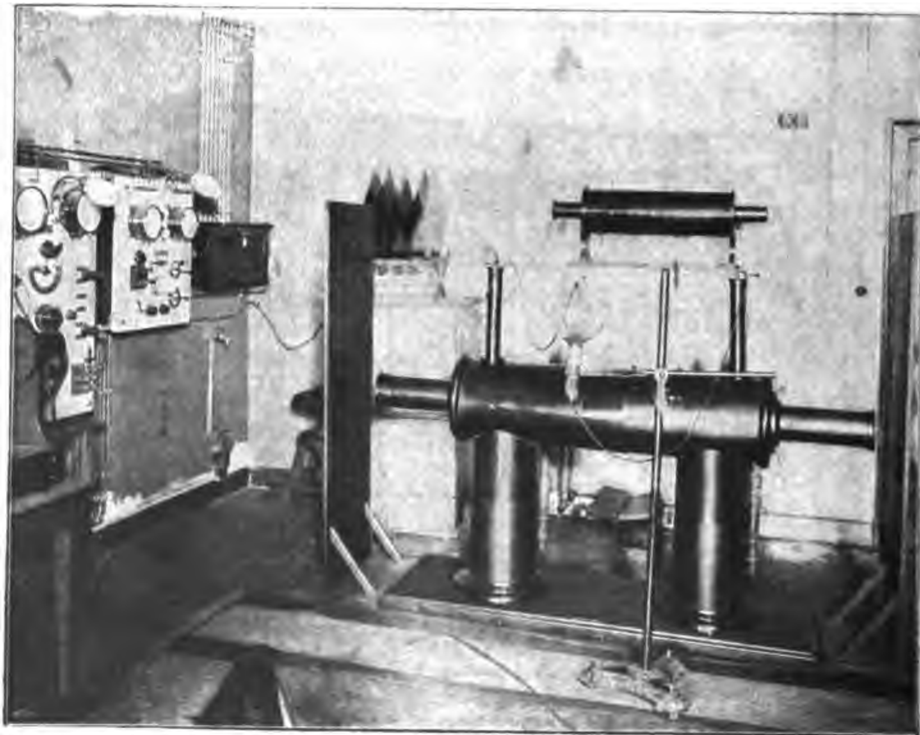


Figur 514 b.

Figur 516 zeigt eine sehr große Einrichtung dieser Art mit Funkeninduktor für 1 m Funkenlänge des Roentgen-Laboratoriums des Königl. Instituts zur Untersuchung mit Roentgenstrahlen in Berlin, gleichfalls von Siemens & Halske A.-G. in Berlin geliefert.



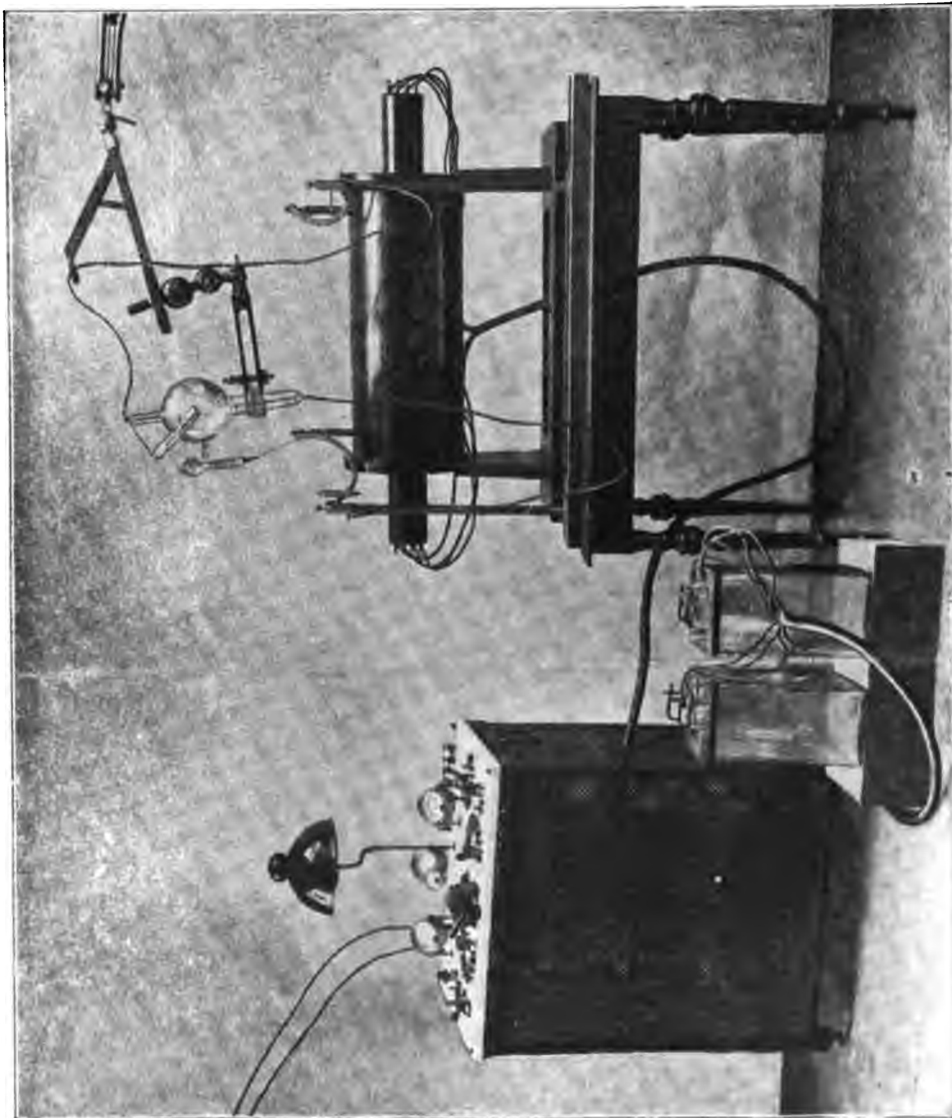
Figur 515.



Figur 516.

In Figur 517 und 518 sind endlich zwei Einrichtungen mit Walter-Schaltung mit den auf Seite 207 bis 208 beschriebenen Schalttischen abgebildet, wie solche von Rich. Seifert & Co., Hamburg, und Siemens & Halske A.-G., Berlin, in den Handel gebracht werden.

Figur 519 zeigt eine Roentgeneinrichtung der letzteren Firma in Schrankform, ebenfalls mit Walter-Schaltung und 3teiligem Stiftunterbrecher,

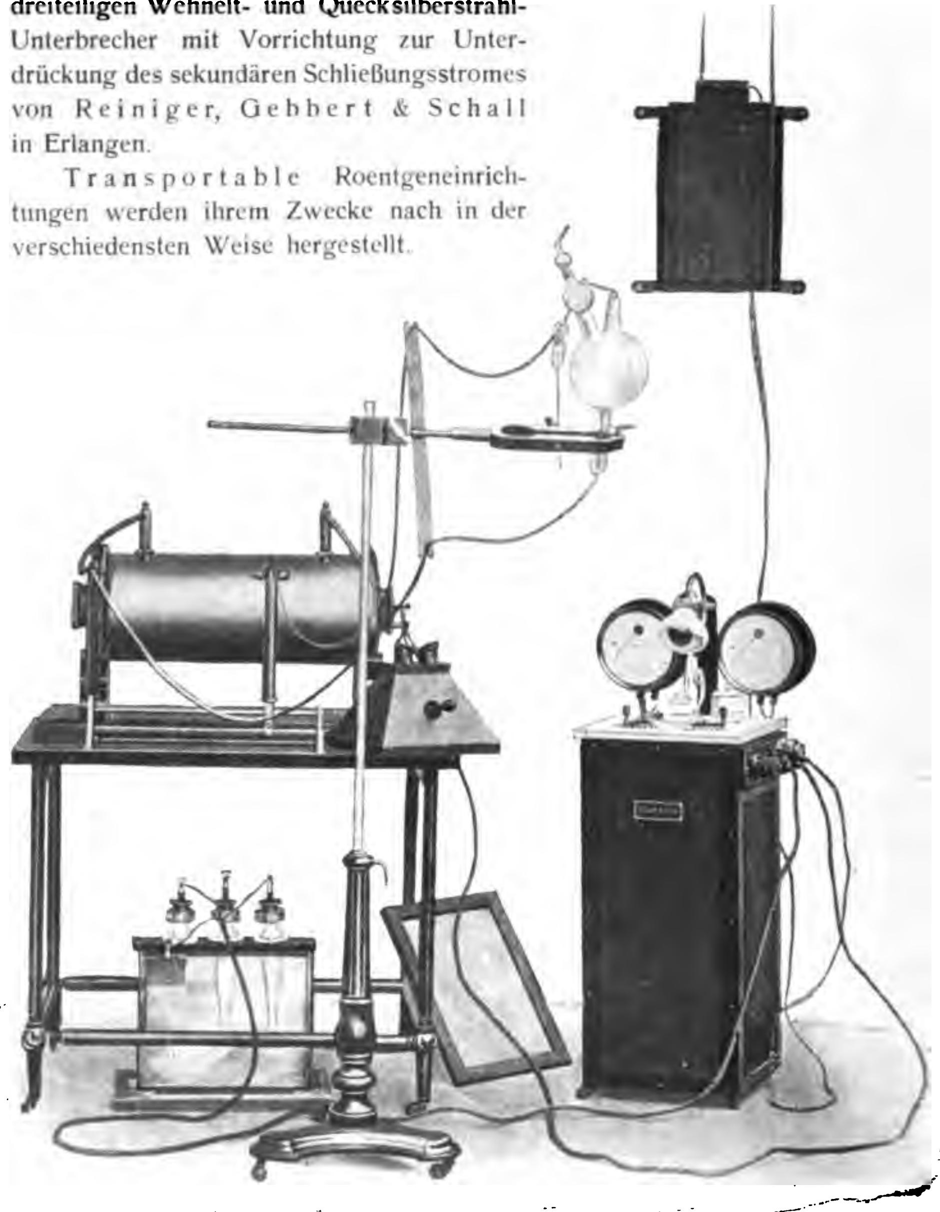


Figur 517.

die für Drehstrom-Anschluß bestimmt ist und daher mit einem elektrolytischen Gleichrichter (unten rechts) ausgerüstet ist.

Noch vollständiger ist endlich die in Figur 520 dargestellte komplette Roentgeneinrichtung nach Dr. Walter für abwechselnden Betrieb durch dreiteiligen Wehnelt- und Quecksilberstrahl-Unterbrecher mit Vorrichtung zur Unterdrückung des sekundären Schließungsstromes von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen.

Transportable Roentgeneinrichtungen werden ihrem Zwecke nach in der verschiedensten Weise hergestellt.

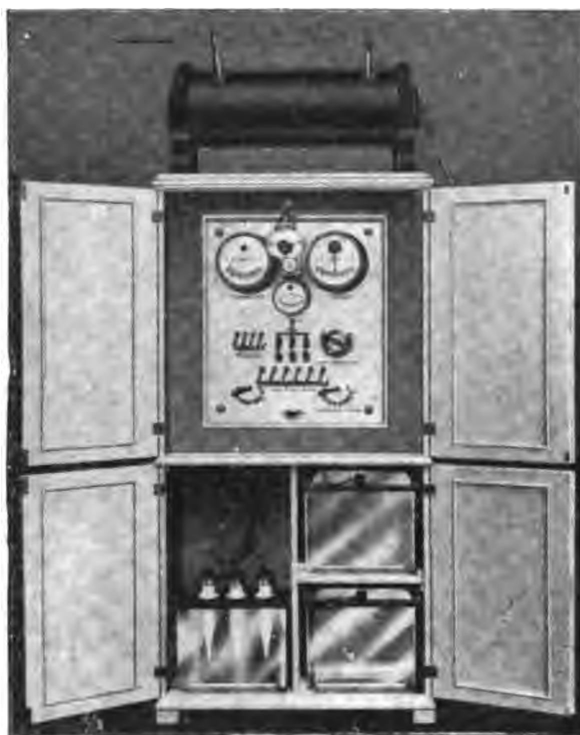


Figur 518.

Figur 521 stellt eine möglichst kompendiöse Roentgeneinrichtung mit Platin-Unterbrecher, Induktor und Roentgenstativ in einem verschließbaren Kasten eingebaut, dar, wie solche Rosenberg & Co. in London liefern. Die zum Betriebe erforderliche Akkumulatorenbatterie ist in besonderen Kästen untergebracht.

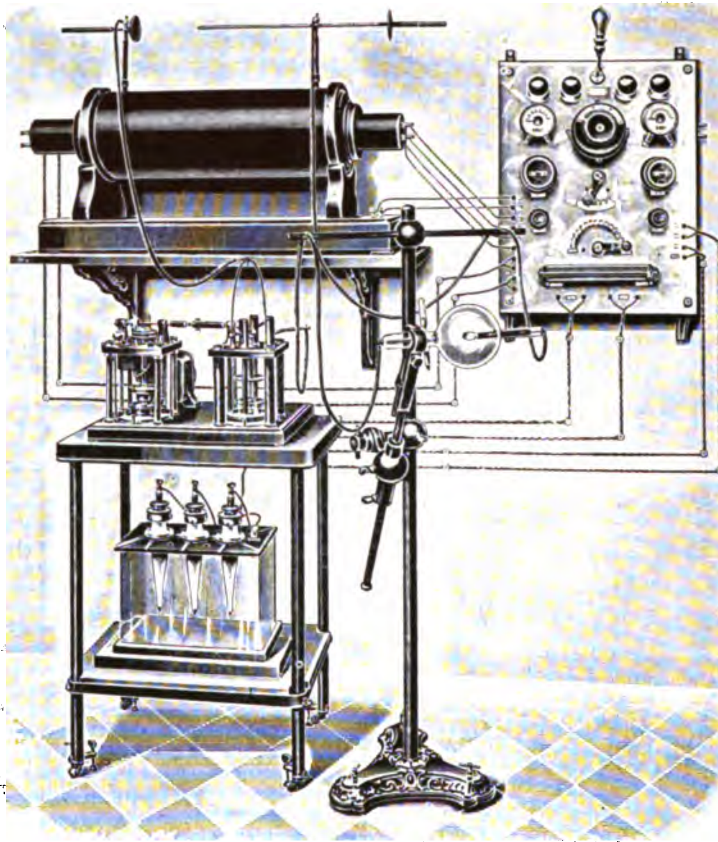
Die von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen konstruierte transportable Roentgeneinrichtung (Figur 522) ist sowohl für Akkumulatoren- wie auch für Anschluß-Betrieb eingerichtet, und zwar dient ein Platin-Unterbrecher für erstgenannte und ein anzuschließender Wehnelt-Unterbrecher für letztgenannte Betriebsart.

Etwas größer und vollständiger ist die in einem fahrbaren, viertürigen Kasten untergebrachte Dr. Max Levysche Einrichtung, welche aus Induktor mit Stativ, Unterbrecher, Roentgenröhrenkästen, Fluoroskop, Verbindungsschnüren und Kassetten gebildet wird. Die zum Betriebe nötigen Akkumulatoren befinden sich in besonderen tragbaren in Figur 523 zu erkennenden Kästen. Aehnlich ausgeführt ist die fahrbare Roentgeneinrichtung von H. W. Cox in London, die Figur 524 wiedergibt.



Figur 519.

Auch für die schwersten Aufnahmen und Durchleuchtungen ausreichend und speziell für größere Krankenhäuser geeignet, wo oft das Bedürfnis vorliegt, neben einer stationären Roentgeneinrichtung noch eine fahrbare zu besitzen, ist die in Figur 525/526 abgebildete fahrbare Roentgeneinrichtung der Siemens & Halske A.-G., Berlin, die aus einem 40 cm-Induktor, 2teiligem Stift-Unterbrecher und Schalttafel zum Anschluß an ein Gleichstromnetz besteht.

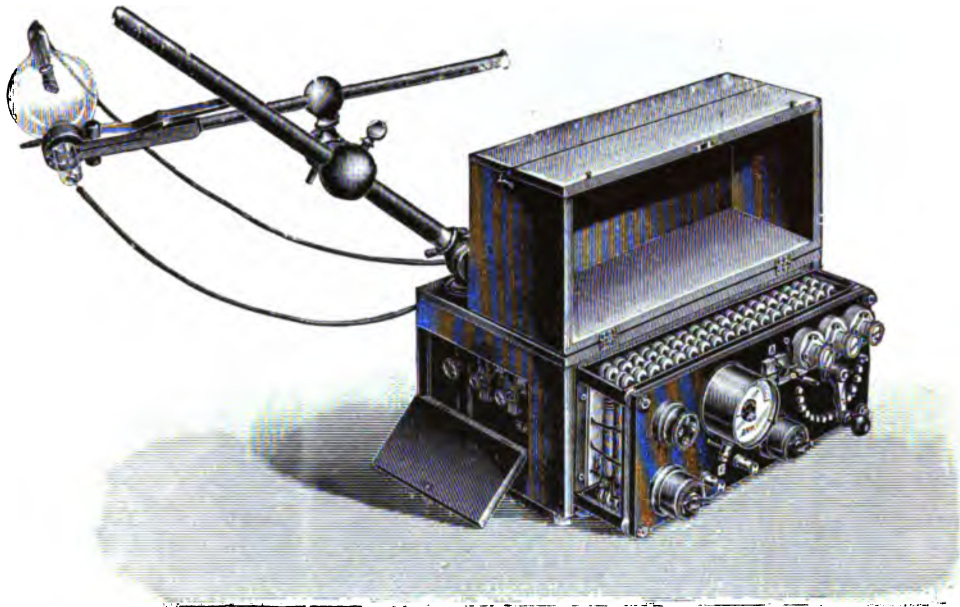


Figur 520.



Figur 521.

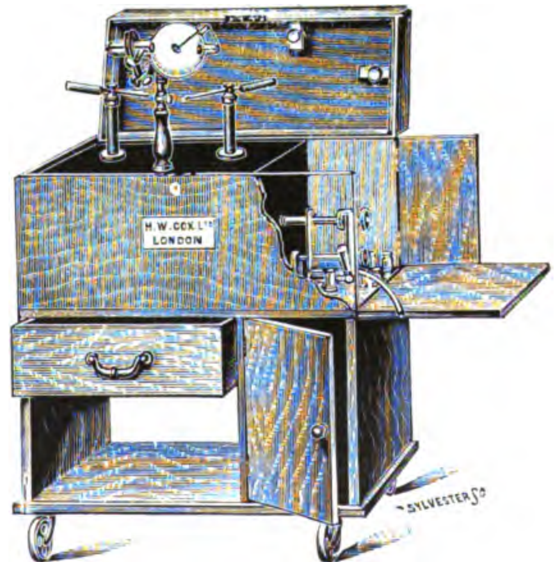
Eine fahrbare Einrichtung für Militärzwecke, einen sogenannten ambulanten Feld-Roentgenapparat, hat die Siemens & Halske A.-G. in Berlin hergestellt, der auch bereits im ostasiatischen Feldzuge zur Verwendung gekommen ist (Figur 527). Der Apparat ist in zwei aneinander gehängten Wagen, nach Art der Artillerie-Protzwagen gebaut, untergebracht. Der vordere Wagen dient dem Führer zum Sitz



Figur 522



Figur 523.



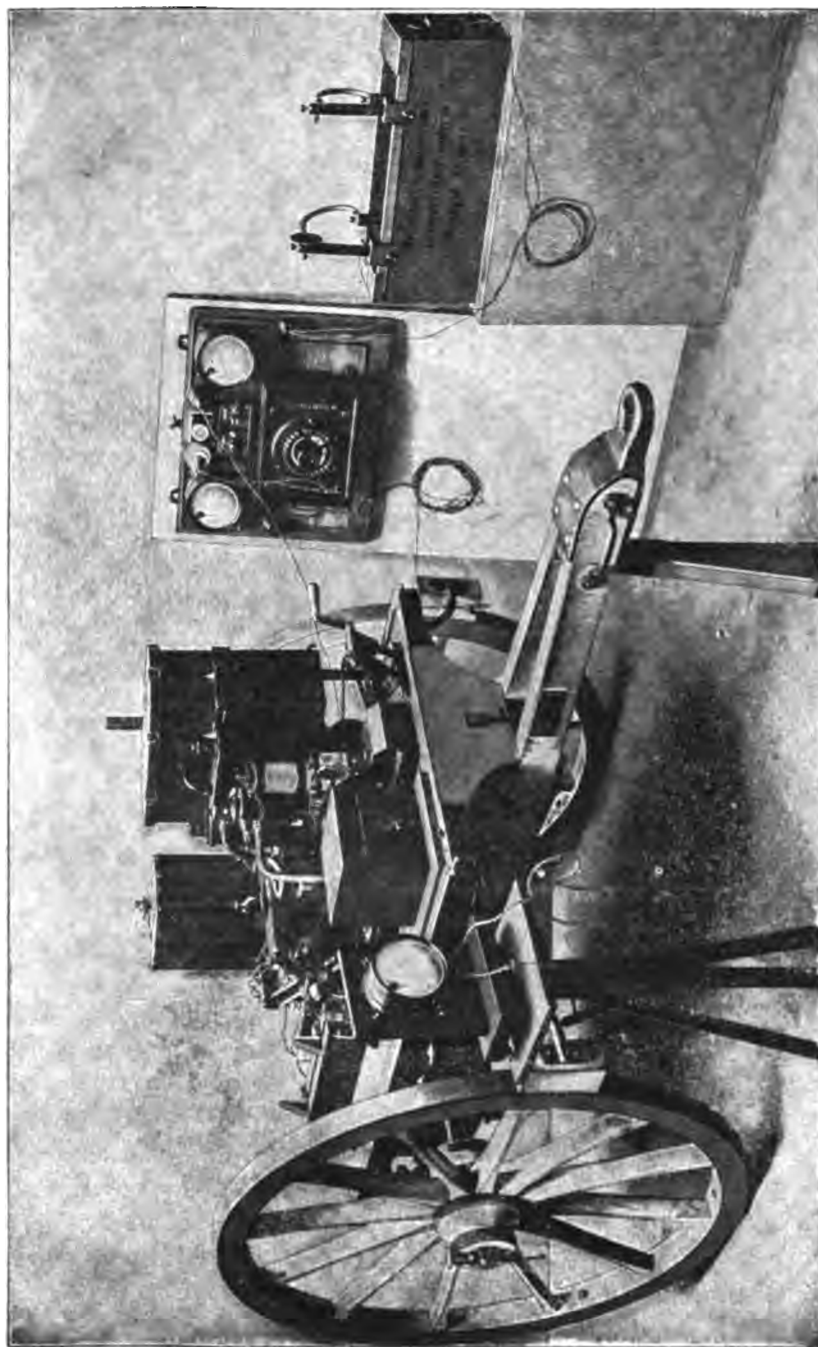
Figur 524.



Figur 525



Figur 526.



Figur 527.

und enthält im wesentlichen nur Ersatzteile; im zweiten, dem Anhängewagen, befindet sich eine Dynamomaschine als Stromquelle, die durch einen Benzinmotor von drei Pferdestärken angetrieben wird, ferner Induktor, Unterbrecher und die Hilfsapparate. Dynamomaschine und Motor sind fest auf dem Wagen montiert, die anderen Apparate können sowohl auf dem Wagen betrieben, als auch von diesem abgenommen und in einem Beobachtungsraum aufgestellt werden. Die Maschinenstation kann also im Freien bleiben, wodurch Geräusch und Geruch vom Arbeitszimmer fern-



Figur 528.

gehalten werden. Ein Mann genügt für die Bedienung der Maschine; er hat nur auf den gleichmäßigen Gang des Motors zu achten. Damit letzterer nicht durchgeht, ist der Ausschalter des Induktors zugleich Einschalter eines Belastungswiderstandes. Der Benzinmotor ist wegen seiner augenblicklichen Betriebsfertigkeit gewählt; als Unterbrecher sind zwei Loch-Unterbrecher vorhanden, von denen der eine als Reserve dient und durch Betätigung eines Umschalters sofort in Betrieb genommen werden kann. Hierdurch ist eine Betriebssicherheit erreicht, wie sie von keinem Platin- oder Quecksilber-Unterbrecher gewährleistet werden kann; auch fallen der sonst nötige Kondensator und die komplizierten Schaltungen fort. Dem Wagen sind einige Glühlampen beigegeben, um im Beobach-

tungszimmer jederzeit Licht machen zu können; an der Schalttafel sind dazu geeignete Stöpselkontakte vorhanden. Beim Einschalten des Induktors erlöschen die Lampen selbsttätig. Photographische Apparate werden auf besonderen Wunsch beigegeben. Eine derartige Einrichtung kostet etwa 8000 Mark.

Figur 528 endlich zeigt einen Feld-Roentgenwagen der gleichen Firma, wie er in der preußischen Armee eingeführt ist. Derselbe enthält ebenfalls eine Benzindynamo und große Roentgen-Einrichtung mit dem für Durchleuchtungen und Aufnahmen benötigten Zubehör, sowie mit Einrichtung zur Beleuchtung des Operationsraumes.

Vierundzwanzigstes Kapitel.

Anwendung der Roentgenstrahlen.

Die Fähigkeit der Roentgenstrahlen, durch für unser Auge undurchsichtige Körper zu dringen, die zu ihrer Entdeckung geführt und anfänglich großes Aufsehen erregt hat, bildet auch heute noch die fast ausschließliche Anwendung derselben.

Vor allem hat sich die Chirurgie ihrer bemächtigt, um die Lage von Fremdkörpern zu ermitteln, Blasen- und Nierensteine festzustellen, oder um Knochenbrüche, Knochenkrankheiten und Verrenkungen zu besichtigen.

Während sich für chirurgische Zwecke vornehmlich die Roentgenographie eignet, ist für die innere Medizin die Roentgenoskopie ein äußerst wertvolles Hilfsmittel für die Feststellung des krankhaften Zustandes von inneren Organen des menschlichen Körpers, wie Lunge, Herz usw.; namentlich wenn es sich um Veränderungen der einzelnen Teile handelt, gestattet sie eine gute Ergänzung der sonstigen physikalischen Diagnostik.

In therapeutischer Hinsicht hat sich herausgestellt, daß die häufige und übermäßige Anwendung der Roentgenstrahlen bösartige Hautentzündungen (Roentgendermatitis) hervorzurufen imstande ist, daß aber ihre mäßige Anwendung zum mindesten bakterientötend wirkt und somit nützlich werden kann.

Außer für medizinische Zwecke sind neuerdings die Roentgenstrahlen auch für technische Zwecke verwendet worden, zur Untersuchung von echten und unechten Edelsteinen und Perlen, von gefälschten Nahrungsmitteln und technischen Produkten, z. B. Zündschnüren, zur Feststellung

von Dichtigkeitsfehlern in verschiedenen Materialien, zur Isolationsmaterialienprüfung usw.

Außerdem benutzen die Zollbehörden dieselben mit Vorteil, um z. B. die in einer großen Holzkiste unter Leinwandballen sorgfältig verborgenen Taschenuhren, die aus der benachbarten Schweiz eingeschmuggelt werden sollen, zu entdecken.

Erwähnt sei endlich der Vorschlag des französischen Polizeiarztes Dr. Socquet, die Roentgenographie zur Ergänzung des Bertillonschen Systems zur Identifizierung von Verbrechern heranzuziehen.

Anhang I:

Ueber die Geschwindigkeit der Roentgenstrahlen.*)

Dr. Erich Marx berichtete in der Sitzung der physikalischen Abteilung der 77. Versammlung Deutscher Naturforscher und Aerzte zu Meran am 26. September 1905 über die von ihm ausgeführte experimentelle Bestimmung der Geschwindigkeit der Roentgenstrahlen. Zuerst versuchte er ein von Luther und Uschkoff (vergl. Phys. Zeitschrift 4, 866 (1903) gefundenes Phänomen bei der Bearbeitung des bereits von verschiedener Seite mit negativem Erfolge in Angriff genommenen Problems zugrunde zu legen. Nach den Beobachtungen von Luther und Uschkoff addieren sich nämlich die Schwärzungen, die das Licht einer photographischen Platte mitteilt, nicht mit den Schwärzungen, welche die Roentgenstrahlen ihr mitteilen, falls erst Roentgenstrahlen und danach Lichtstrahlen einwirken. Vielmehr bewirkt die Reihenfolge Roentgenstrahlen – Licht eine Subtraktion der einzelnen Wirkungen, während umgekehrt Roentgenstrahlen nach Licht eine Addition der jeweiligen Schwärzungen erzeugen. Je nach der Reihenfolge des Auftreffens der Strahlen auf die photographische Platte resultiert also ein photographisch fixierbarer Unterschied in der Wirkung beider Strahlenarten. Marx schaltete daher parallel zu einer Roentgenröhre den Oeffnungsfunken eines Funkeninduktors und ließ die Strahlungen beider Lichtquellen auf eine photographische Platte einwirken, die zwischen Funken und Roentgenröhre aufgestellt war. Die Veränderung der Plattenstellung sollte den Uebergang von Addition zur Subtraktion und damit den Geschwindigkeitsvergleich ergeben. Diese Methode führte aber aus dem

*) Zeitschrift „Der Mechaniker", 1906, Heft 10.

Grunde nicht zum Ziele, weil ein einziger Oeffnungsfunke eine bereits aus mehreren Entladungen bestehende Schwingung auslöst, so daß mehrere Strahlungen: Licht—Roentgenstrahlen — Licht—Roentgenstrahlen aufeinander folgen. Wenn man zur Vermeidung dieses Uebelstandes bis zur Aperiodizität dämpft, so wird die Intensität zu schwach.

Marx ging daher zu einer anderen Methode über, die in der zunächst versuchten Gestaltung in gewisser Hinsicht ein elektrisches Analogon zur Fizeauschen Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes bildet.

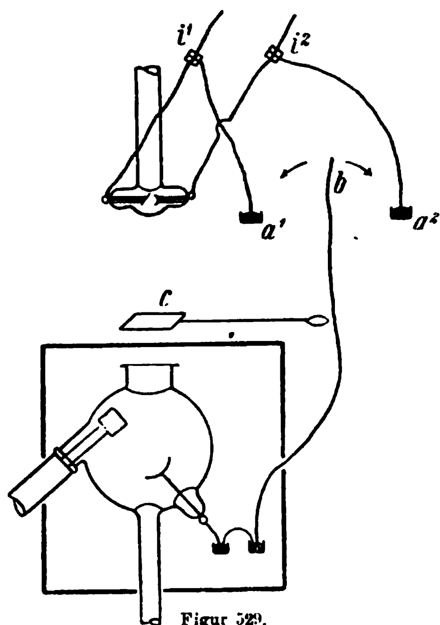
Prinzipiell beruht dieselbe auf folgender Ueberlegung: Mittels Hertz'scher Schwingungen werden Roentgenstrahlen erzeugt; nur während des Andauerns der negativen Phase der elektrischen Welle werden Kathodenstrahlen und durch diese Roentgenstrahlen erzeugt. Synchron mit der die Roentgenstrahlen erzeugenden Hertz'schen Schwingung soll eine Elektrode in einem evakuierten Entladungsrohr schwingen. Diese induktionssicher geschützte Elektrode soll zum Treffpunkt der Roentgenstrahlen werden und soll dann und nur dann — Kathodenstrahlen emittieren, wenn sie im negativen Zustand getroffen wird, und keine zur Beobachtung gelangenden Kathodenstrahlen emittieren, wenn sie in positiver Phase von der Roentgenstrahlung erreicht wird. Die Aenderung der Entfernung der Roentgenröhre von der Auffangröhre sollte bewirken, daß die Roentgenstrahlen infolge veränderter Weglänge die bestrahlte Elektrode in veränderter Phase antreffen, und bei Abstandsänderungen von $\frac{\lambda}{2}$ der erzeugenden Welle sollte sich zeigen, ob die Geschwindigkeit der Roentgenstrahlen mit der von der Theorie angenommenen Lichtgeschwindigkeit identisch ist.

Die erste Voraussetzung zum Gelingen des Experimentes ist die Erzeugung von Roentgenstrahlen durch Hertz'sche Wellen. Dazu konstruierte Marx eine besondere Röhre. die nur eine äußere Länge von 30 mm besaß. Die Kathode ist ein Hohlspiegelchen von 3 mm äußerem Durchmesser, die Anode ist eben und hat 5 mm Durchmesser.

Zur Erzeugung der Hertz'schen Wellen diente ein Lecher'scher Kondensator mit Petroleumfunkenstrecke. Die Erregung erfolgte induktiv durch einen geschlossenen, abgestimmten Kondensatorkreis, der von einem 30 cm-Funkeninduktor mit Quecksilberturbine gespeist wurde.

Das ganze Wellensystem mitsamt der Erregung befand sich in einem eisernen Kasten, durch welchen die zur Röhre führenden Drähte isoliert herausgeführt wurden. Eine weitere Untersuchung bezog sich auf den Nachweis, ob derartig erzeugte Roentgenstrahlen die Eigenschaft besitzen, ein dem photoelektrischen Effekt analoges Phänomen auszulösen, d. h.

Kathodenstrahlen zu erzeugen. Zunächst schlugen die zu diesem Zweck angestellten Versuche fehl, da das Elektrometer, selbst bei Anlegung einer negativen Spannung von 1000 Volt an die bestrahlte Elektrode, vollständig ruhig blieb. Nachdem Marx festgestellt hatte, daß der Grund für das Mißlingen des Versuches unmöglich an der zu geringen Intensität der kleinen Röhre liegen konnte, zeigte es sich, daß beim näheren Heranschieben der Hochspannungsbatterie an das Auffanggefäß unter gleichzeitiger Verkürzung des Zuführungsdrahtes, eine Veränderung, der zunächst gar kein Wert beigelegt wurde, bei einem Elektrodenpotential von — 40 Volt Kathodenstrahlung ausgelöst werden konnte. Bei weiter abstehender Batterie und etwas längerem Drahte blieben dieselben aus.



Figur 529.

Wurde bei Konstanthaltung des angelegten Potentials der Zuführungsdraht zur Platinelektrode verkürzt bezw. verlängert, so traten periodisch Minima der ausgelösten Kathodenstrahlung während der Aenderung des Zuführungsdrahtes auf Strecken von etwa 45 cm auf, was auf Schwingungen schließen ließ.

Nachdem Marx festgestellt hatte, daß die Anlegung von Potentialen mit Hilfe der Akkumulatorenbatterie lediglich einer Anhängung einer großen Kapazität entsprach und das Zustandekommen der im Drahte hervorgerufenen Schwingung mehr oder weniger hinderte, entfernte er die Hochspannungsbatterie völlig und befestigte den Draht frei, isoliert endigend, an der bestrahlten Elektrode; jetzt konnten kräftige Elektrometerausschläge erzielt werden.

Marx stellte ferner fest, daß die Schwingung des Drahtes durch die Roentgenstrahlen selbst, infolge periodischer Elektronen-Emission, erzeugt wird. Es war klar, daß hier in dem mit der bestrahlten Elektrode verbundenen Draht nicht nur eine Schwingung, sondern ein Resonanzphänomen ausgelöst wurde. Nachdem nun die Tatsache klar war, daß die Elektrode durch die auffallenden Roentgenstrahlen selbst in Schwingung geriet, war die Aufgabe zu lösen, die durch die Roentgenstrahlen erzeugte Schwingung zu dämpfen und dem Elektrodensystem die

Schwingung der die Roentgenstrahlen erzeugenden elektromotorischen Kraft aufzuzwingen.

Die Intensität der Schwingung muß dabei in solchen Grenzen gehalten werden, daß von der Elektrode selbst keine Kathodenstrahlen ohne Roentgenstrahlenwirkung ausgehen. Die sich hiernach ergebende Anordnung war schließlich die in Figur 529 dargestellte. Ueber die beiden Lecher'schen Drähte sind an zwei entsprechenden Punkten Röhren i^1 i^2 geschoben, die eine einzige Windung eines isolierten Guttaperchadrahtes tragen. Die Drähte führen zu je einem Quecksilbernäpfchen a^1 a^2. Der Verbindungsdraht b zur bestrahlten Platin-Elektrode ist isoliert aus dem Käfigschutz der Auffangröhre herausgeführt. Wählt man einen Draht von geeigneter Länge und verbindet a^1 mit b, so erhält man bei Erregung der Röhre dann keinen Ausschlag, wenn eine Bleiplatte c über dem Aluminiumfenster des Schutzkäfigs liegt; wird aber die Bleiplatte fortgenommen, so ergibt die Schaltung des Drahtes zur Anodenseite einen starken negativen Ausschlag. Die Schaltung desselben Drahtes zum gegenüberliegenden Näpfchen a^2 auf der Kathodenseite ergibt einen schwachen positiven Ausschlag. Dieser rührt daher, daß Luftreste hier und bei den folgenden Versuchen stets im Auffanggefäß belassen wurden. Diese Luftreste werden ionisiert und die bei schwachem Druck sehr beweglichen negativen Elektrizitätsträger wandern zu der positiv angetroffenen Elektrode hin, so daß der Faraday-Zylinder mit positiver Ladung zurückbleibt.

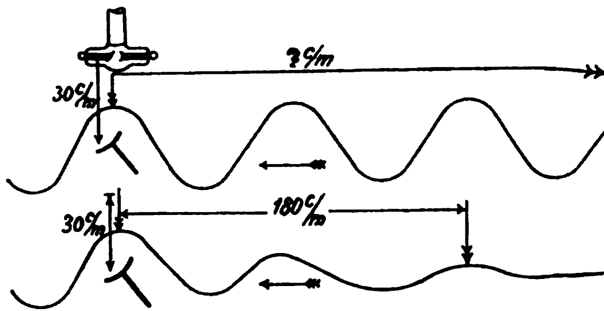
Auf diese Weise war es gelungen, mit den durch die gleiche Schwingung erzeugten Roentgenstrahlen während der Dauer der negativen Phase der Elektrode Kathodenstrahlen auszulösen, die am Faraday-Zylinder zur Beobachtung kommen, während bei angetroffener positiver Phase das Elektrometer eine + Ladung anzeigte.

Marx stellte nun mit Hilfe eines Luftresonators die Wellenlänge des Wellensystems bei eingeschalteter Roentgenröhre fest. Neben einer Welle mit $\frac{\lambda}{2} = 135$ cm fand er eine zweite mit $\frac{\lambda}{2} = 45$ cm. Letztere ergab sich ziemlich stark gedämpft, da sich deutlich nur 6 halbe Wellen abgreifen ließen. In Uebereinstimmung hiermit ergaben sich bei Einschaltung variabler Drahtlängen zwischen dem kleinen Transformator auf der Kathodenseite und der Elektrode periodisch in Abständen von 45 cm mit großer Schärfe Nullpunkte der Elektrometerausschläge.

Die Feststellung, daß die für die Roentgenstrahlenerzeugung und das Potential der bestrahlten Elektrode maßgebende Schwingung schon nach

etwa drei vollständigen Schwingungen erloschen war, lieferte Marx im Verein mit dieser Beobachtung von zwei Nullpunkten einen ersten unteren Grenzwert der Geschwindigkeit der Roentgenstrahlen.

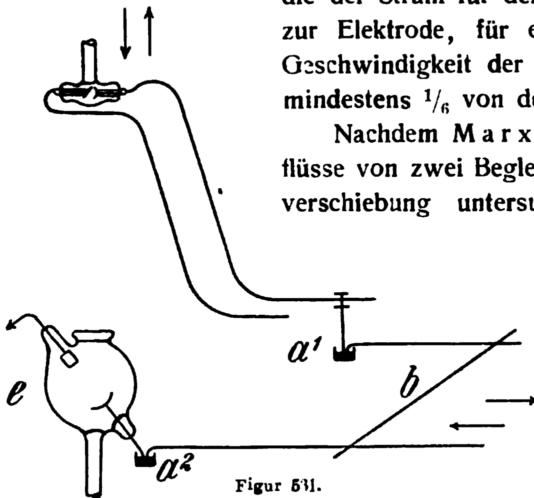
Wäre die Welle des Lecher'schen Systems ungedämpft, so konnte zwischen der Zeit der ersten und zweiten Koinzidenz eine beliebige Anzahl von Schwingungen der Elektrode stattgefunden haben. Die Schwingung ist aber schon nach drei ganzen Oszillationen erloschen (vergl. Figur 530), daher muß die Geschwindigkeit der Roentgenstrahlen so groß sein, daß sie hinreicht, um spätestens die dritte negative Schwingung noch zu erreichen. Es kann also die Zeit, die der Strahl braucht, höchstens gleich derjenigen sein, die das Licht braucht, um die Strecke von $2 \times 90 = 180$ cm zurückzulegen. Das Licht kann also höchstens 180 cm zurücklegen in der Zeit,



Figur 530.

die der Strahl für den Weg von der Antikathode zur Elektrode, für etwa 30 cm braucht. Die Geschwindigkeit der Roentgenstrahlen muß also mindestens $1/6$ von der des Lichtes sein.

Nachdem Marx nun noch die etwaigen Einflüsse von zwei Begleiterscheinungen der Röhrenverschiebung untersucht und als ungefährlich bezw. überwindbar festgestellt hatte, ging er zu einer direkten Messung der Strahlen durch die Verschiebung der Roentgenröhre über.



Figur 531.

Die definitive Anordnung zeigt Figur 531; sie beruht auf dem Vergleich der Geschwindigkeit der Roentgenstrahlen mit der Geschwindigkeit der Elektrizität längs gerader Drähte. Letztere Geschwindigkeit ist gleich der Lichtgeschwindigkeit. Die Anordnung ist folgende: Von zwei Quecksilbernäpfchen a^1 a^2 gehen gestreckte Drähte in einer gegenseitigen Ent-

fernung von 30 cm aus. Beide Drähte sind durch eine Drahtbrücke *b* verbunden, die auf einem Maßstab Führung hat. Durch Verschiebung der Brücke von den Näpfchen wird erreicht, daß das Potential der bestrahlten Elektrode, das von den Strahlen der Hochfrequenzröhre angetroffen wird, variiert, und zwar derart, daß etwa das negative Maximum bei einer Brückenverschiebung von 22,5 cm um die Zeit später ankommt, die das Licht braucht, um 45 cm zu durchlaufen. Wird die Brücke so eingestellt, daß die auftreffenden Roentgenstrahlen gerade den Nullpunkt des Potentials antreffen, so wird eine Verschiebung der Roentgenröhre nach oben bewirken, daß die Roentgenstrahlen wiederum ein von 0 verschiedenes Potential antreffen. Um den Nullpunkt wieder zu erhalten, muß sie verschoben werden, und zwar um die Hälfte der Strecke, um die die Roentgenröhre verschoben wird, falls die Geschwindigkeit der Roentgenstrahlen identisch ist mit der der Elektrizität in geraden Drähten, also mit derjenigen des Lichtes. Das Experiment ergab in der Tat die Identität der Geschwindigkeit der Roentgenstrahlen mit der Lichtgeschwindigkeit innerhalb 5 % der Fehlergrenzen des Experiments.

Diese Fehlergrenze der Einzelbeobachtung hat sich durch weitere Ausgestaltung der Methode, über die Marx im 29. Band der Abhandlungen der Sächs. Akad. d. Wissenschaft*) berichtet, bis auf 2 % reduzieren lassen. An dieser Stelle wird auch ausführlich über die physikalischen Vorgänge bei der Nullmethode, die sich als ein bewegliches Gleichgewicht zwischen den der Oberflächendissoziation und Volumendissoziation entstammenden Strömungen darstellen, ferner über die Berechnung und Dimensionierung des definitiven Apparates und über das Beobachtungsmaterial berichtet. Es wird dort auch ausführlich die wesentlichste Schwierigkeit für die Durchführung des Prinzips, welche bei jeder Methode ähnlichen Charakters auftritt, diskutiert. Diese Schwierigkeit besteht in der Unmöglichkeit, bei gekoppelten Schwingungssystemen eine einzige und nur eine einzige einheitliche Welle auszulösen. Es wird gezeigt, daß die Störung, welche dem Meßprinzip aus der Existenz mehrerer gleichzeitig ablaufender Wellenzüge von verschiedener Periode erwächst, durch Verwendung des hier benutzten Kompensationsverfahrens bei geeigneter Dimensionierung unschädlich gemacht werden kann. Die Berechnung der Dimensionierung auf Grund des maßgebenden Prinzips wird vollständig durchgeführt; es ergibt sich, daß die theoretische Berechnung der Dimensionen mit den experimentell benutzten übereinstimmt und es wird gezeigt, daß die Größe der erreichten Genauigkeit, welche

*) Verlag von B. G. Teubner, Leipzig.

durch ausführlich angegebene Beobachtungstabellen dokumentiert ist, der richtigen Dimensionierung zu danken ist.

Die Methode, die Marx hier angewendet hat, geht in ihrem Anwendungsbereich weit über das spezielle Problem, das hier gelöst wurde, hinaus: Es läßt sich vielleicht jede Strahlenart mit Hilfe des Marx'schen Verfahrens in Hinsicht der Fortpflanzungsgeschwindigkeit untersuchen; die Methode ermöglicht es, Zeiten von der Größenordnung von 10 cm Lichtwegzeit, also $\frac{1}{3\,000\,000\,000}$ Sekunde auf etwa 2 % Genauigkeit zu messen.

Anhang II:

Nachträge*).

1. Rich. Seifert & Co., Hamburg.

Durch das so frühe Hinscheiden des Verfassers dieses Werkes ist es diesem leider nicht möglich gewesen, noch die neuesten Konstruktionen, die in das Gebiet der Roentgenstrahlentechnik fallen, zu erwähnen, daher sind wir gern der Aufforderung des Verlages gefolgt und wollen in einem kurzen Anhang noch diese Neukonstruktionen besprechen, wobei wir teilweise auf die Textstellen verweisen werden, in denen schon einige der Konstruktionen angedeutet wurden, und denen wir dann nur die vollkommenere Konstruktion hinzufügen.

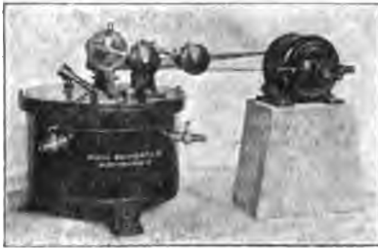
Viele dieser neuen Apparate sind besonders durch die in dem letzten Jahre in hohem Maße eingeführte Roentgentherapie bedingt worden, und dieser werden wir wohl auch in Zukunft noch recht mannigfache Neuerungen zu verdanken haben, so daß sich noch nicht voraussagen läßt, welche Apparate sich später behaupten werden.

Die Roentgentherapie wird sowohl mit dem Funkeninduktor, als auch mit dem Funkentransformator betrieben. Bis zur Zeit ist jedoch noch die erstere Betriebsart die verbreitetste, und erst die neuen Konstruktionen

*) Anmerkung des Verlages: Da der im vorigen Jahre verstorbene Verfasser dieses Buches die letzten Neukonstruktionen auf dem Gebiete der Funkeninduktoren- und Roentgenstrahlentechnik teilweise nicht mehr mit berücksichtigen konnte, haben wir die bedeutenderen Firmen der Branche gebeten, in Form von Original-Mitteilungen ihre wichtigeren Neuerungen aus der letzten Zeit in Wort und Bild in diesem Anhang selbst vorzuführen.

der Funkentransformatoren mit dem mechanischen Gleichrichter werden den Funkentransformatoren auch in der Therapie eine Stellung sichern.

Bei den Instrumentarien mit Funkeninduktor ist besonders der schon in Teil I, Seite 128 erwähnte Quecksilber-Gasunterbrecher neuerdings so konstruiert worden, daß er viel besser arbeitet als früher und daher auch immer häufiger Verwendung findet. Durch geeignetere Wahl der Segmente, der Düsenform, aus der das Quecksilber gespritzt wird, und durch ein großes Unterbrechergefäß ist dieser Unterbrecher imstande lange Zeit, teilweise 8 bis 10 Stunden, dauernd zu arbeiten und Ströme hoher Stromstärken zu unterbrechen, ohne, daß sich Unregelmäßigkeiten in der Unterbrechung zeigen, und ohne, daß das Quecksilber mit den Löschflüssigkeiten verschlammen kann, denn diese sind hier ganz vermieden und es genügt, daß man täglich zu Beginn des Betriebes das Unterbrechergefäß mit Leuchtgas füllt. Nach langem Gebrauch läßt sich dann das etwas durch Kohlen- und Metallstaub verunreinigte Quecksilber sehr leicht durch einfaches Filtrieren reinigen und der Unterbrecher ist wieder vollständig gebrauchsfähig. In Figur 532 ist einer unserer Gasunterbrecher abgebildet, und zwar ist der Antriebsmotor nicht direkt mit dem eigentlichen Unterbrecher gekuppelt, der Unterbrecher wird vielmehr durch eine Riemenübertragung angetrieben, da es bei dieser Ausführung möglich ist, einen kleinen Antriebsmotor mit Ringschmierung zu benutzen, während sonst bei aufrecht stehenden Motoren die Schmierung der Lager bei langem Gebrauch nicht gut ist. Die Figur 533 zeigt denselben Unterbrecher ohne Unterbrechergefäß, so daß die Düsen und Segmente zu sehen sind. Die Segmenthöhe läßt sich durch die eine der sichtbaren Kurbeln einstellen, während die andere Kurbel einmal die vier Segmente hintereinander, und einmal je zwei parallel schaltet; hierdurch und durch die Tourenzahl des Antriebsmotors läßt sich dann die Unterbrechungszahl regeln, während die Länge der Segmente die Unterbrechungsdauer regelt. Da bei der langen Dauer der Behandlung in der Roentgentherapie auch die Primärspule des Funkeninduktors allmählich warm wird, und dadurch auf die Isolierung der Sekundärspule einwirken könnte, kühlt man die erstere, indem man durch das Hartgummirohr einen dauernden Luftstrom sendet. Dies geschieht wohl am besten mit einem Gebläse, das direkt Druckluft durch die Primärspule schickt, hierdurch bewirkt man eine ständige gleich-



Figur 532.

mäßige Kühlung. Die Figur 534 zeigt einen Induktor mit Gebläsevorrichtung.

Aber auch die Roentgenröhre wird durch diesen langen Betrieb sehr belastet und außer den schon im XIV. Kapitel beschriebenen Kühlvorrichtungen, benutzt man noch ein anderes Mittel um die Röhre zu schonen; man schaltet während des Betriebes Ruhepausen ein, während der sich dann die Röhre erholen kann, und zwar benutzt man zu diesem Zweck Schalter, die periodisch den Primärstromkreis ein- und ausschalten.



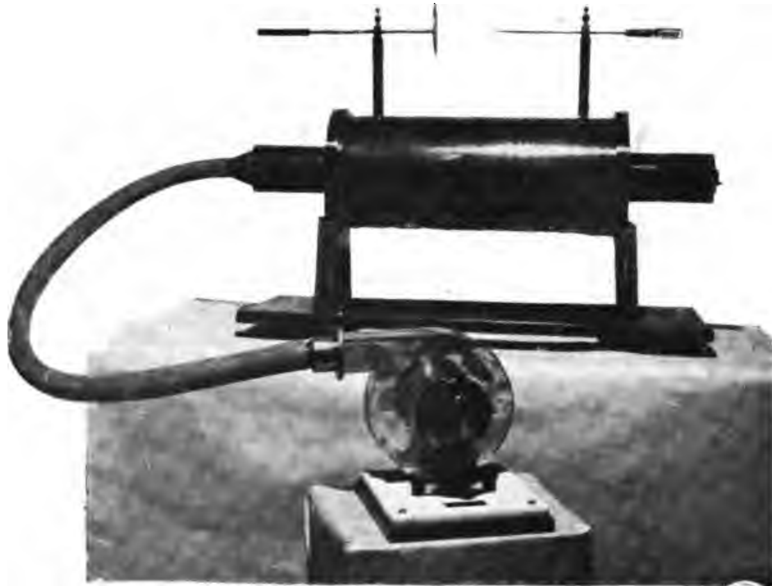
Figur 533.

Solche Schalter sind unter dem Namen Rhythmeur im Handel. Die Figur 535 zeigt unseren Eresco-Rhythmeur, der als Kontakte Kohle hat und der es gestattet, Ströme bis zu 40 Ampere rhythmisch zu unterbrechen. Der Antrieb der eigentlichen Schaltvorrichtung erfolgt, wie aus der Figur ersichtlich ist, durch einen kleinen Motor, mit einem in Oel laufenden Getriebe, das gleichzeitig die richtige Uebersetzung bewirkt. Die Kontakte werden dann durch einen Exzenter abwechselnd geöffnet und geschlossen, zur Vermeidung großer Funkenbildung sind mehrere hintereinander geschaltet. Der Exzenter läßt sich auswechseln und es läßt sich ein solcher anderer Form einsetzen, wie sie in der Figur vor dem Motor sichtbar sind. Dadurch kann man erreichen, daß die Pause länger als der Stromschluß ist und umgekehrt, weiterhin aber auch, daß bei einer Umdrehung zweimal der Strom geschlossen und geöffnet wird.

Diese Rhythmeure werden auch teilweise bei dem Betriebe mit Funkentransformatoren benutzt, jedoch ist hier eine ganz neue Einrichtung vorzuziehen, die weiter unten beschrieben werden soll.

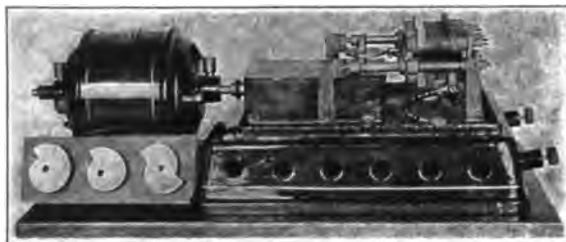
Die Figur 536 zeigt einen vollständigen Roentgenapparat, wie er für die Roentgentherapie mit Funkeninduktor von uns gebaut wird.

Der luftgekühlte Funkeninduktor ist oben auf einem Schrank aufgestellt, in dem Schrank befindet sich der Quecksilber-Gasunterbrecher, der



Figur 534.

auch bei geschlossenen Türen von außen regulierbar ist. Von dem Antriebsmotor des Unterbrechers wird gleichzeitig das Luftgebläse angetrieben. In dem Schrank ist ferner noch der Rhythmeur untergebracht und außerdem ein Kondensator, der besonders für große Dauerbeanspruchung gebaut ist. Aus dem Schrank führen dann seitlich eine Anzahl Zuleitungsdrähte zu einem fahrbaren Reguliertisch, auf dem dann die nötigen Schalter übersichtlich angeordnet sind.



Figur 535.

Sodann ist im letzten Jahre auch noch das Gebiet der Roentgen-

stereoskopie, das schon auf Seite 347 u. ff. behandelt wurde, bedeutend verbessert worden. Die Figuren 537 und 538 zeigen die für ein neues Institut gelieferte stereoskopische Aufnahmevorrichtung. Es ist dies eine Einrichtung für Aufnahmen auf Platten bis 40×50 cm Größe; die Kassette mit den Platten, die in kürzester Zeit mechanisch bewegt werden muß, ist gleichzeitig als Aufnahmetisch aus-



Figur 536.

gebildet. Die Figur 537 zeigt die Einrichtung für Aufnahmen im Stehen, hier ist die Roentgenröhre in dem abgebildeten Bleischutzkasten angebracht und wird auch hier mechanisch nach der erfolgten ersten Aufnahme in die zweite Stellung bewegt.

Die Figur 538 zeigt dieselbe Einrichtung für Aufnahmen im Liegen;

bei Nichtgebrauch kann dann die Roentgenkassette an den Säulen bis zur Decke hoch geschoben werden, so daß sie im Zimmer selbst keinen weiteren Platz fortnimmt.*)

Wesentlich für den modernen Betrieb in der Roentgenstrahlentechnik ist noch ein Apparat, der unbedingt bei den modernen Aufnahmen mit

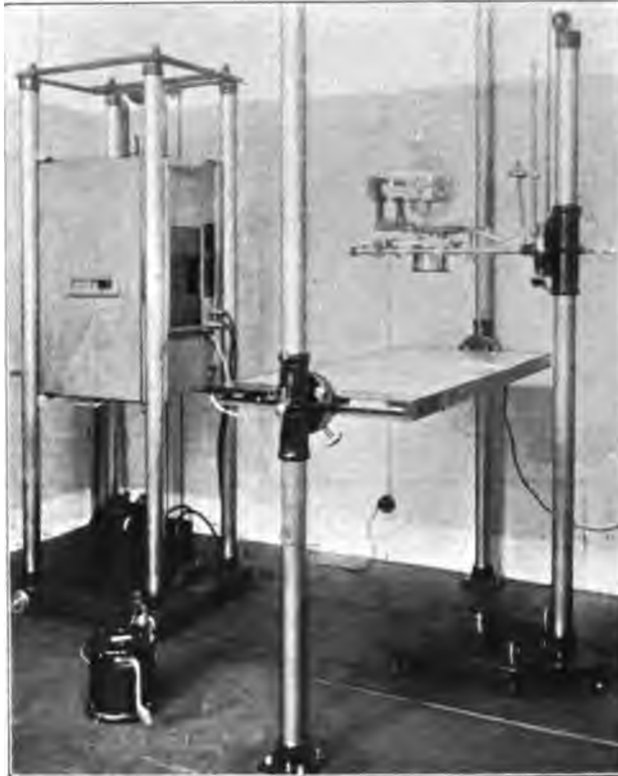


Figur 537.

nur kurzer Expositionszeit von $^1/_{20}$ bis $^1/_5$ Sekunde notwendig ist, nämlich der sogenannte Momentschalter (Figur 539). Dieser Momentschalter gestattet es, den Strom ganz genau für einen bestimmten kurzen Zeitraum einzuschalten. Er besteht im wesentlichen aus einem Hebelschalter und einem Uhrwerk mit Kontaktvorrichtung. An dem Uhr-

*) Näheres hierüber siehe Dr. Lorey, Fortschritte auf dem Gebiete der Roentgenstrahlen, Band XX Seite 288 und Dr. Haenisch, Prof. Hegener und Dr. Lorey, Verhandlungen der Deutschen Roentgengesellschaft, Bd. 9, 1913. Diese Apparate wurden ebenfalls von uns in Gemeinschaft mit den genannten Herren konstruiert.

werk lassen sich dann die gewünschten Zeiten von $1/_{20}$ bis 10 Sekunden genau einstellen, der Hebelschalter wird eingeschaltet und dann, wenn der Primärstromkreis mit dem Hauptschalter auf der Schalttafel geschlossen wird, wird er auch ganz selbsttätig nach Ablauf der gewünschten Zeit wieder unterbrochen. Dieser Schalter wird direkt in den Primärkreis eingeschaltet, und wenn er nicht benutzt werden soll, so wird



Figur 538.

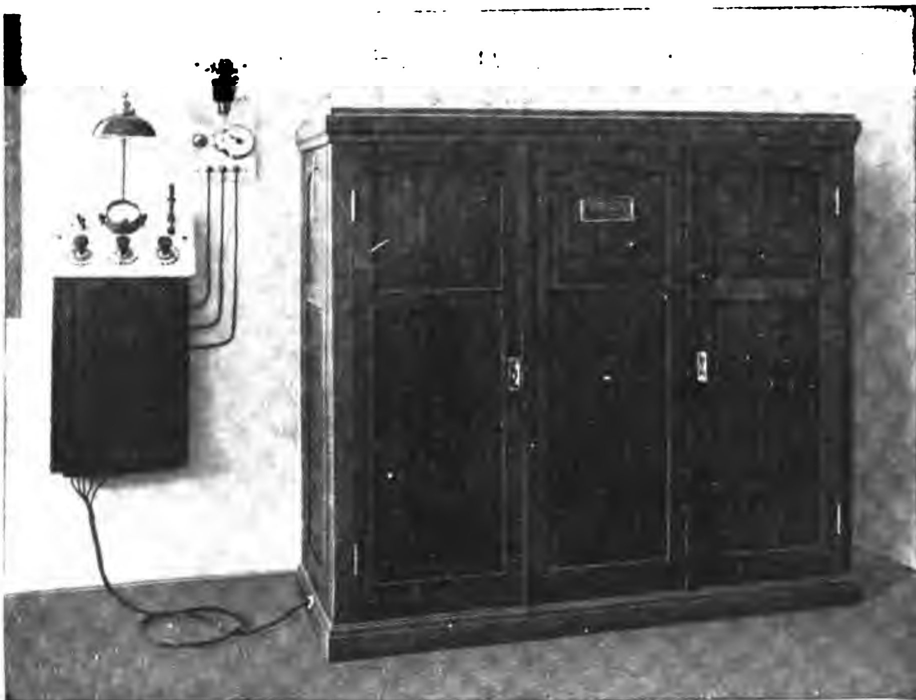
er durch den kleinen in der Abbildung sichtbaren Drehschalter außer Betrieb gesetzt.

Schließlich wollen wir noch auf die neuesten Veränderungen an den schon im XXII. Kapitel beschriebenen Funkentransformatoren eingehen. Es hat sich hier als notwendig erwiesen, auch diese Apparate besser als bisher für die langen Bestrahlungen mit Roentgenstrahlen geeignet zu machen. In der Aufnahmetechnik sind sie schon mit an die erste Stelle gerückt, da sie in besonders großem Maße gestatten, höchste Stromstärken durch die Roentgenröhre zu senden, und dadurch die Expo-

sitionszeit erheblich zu verkürzen. In der Bestrahlungstechnik aber greifen sie die Röhre zu sehr an und gestatten ihr zu wenig Ruhepausen, daher hat man teilweise auch den auf Seite 402 beschriebenen Rhythmeur in ihren Primärstromkreis eingeschaltet. Diese Pausen lassen sich aber leichter dadurch bewirken, daß man die überflüssigen Wellenhälften garnicht erst erzeugt und dies geschieht sehr zweckmäßig dadurch, daß man den Kollektor des benutzten Einankerumformers bei Gleichstrombetrieb unterteilt und so bei einem halben Schleifring nur 50 Stromstöße in der Minute durch die Röhre schickt, vorausgesetzt, daß man sonst Wechselstrom von 50 Perioden hat, der 100 Stromstöße liefern würde. Bei einem $^1/_4$ Schleifring erhält man sogar nur 25 Stromstöße, so daß man also die Pausen beliebig regulieren kann. Weiterhin hat man nun aber gefunden, daß die Stromkurven der sekundären Ströme



Figur 539.

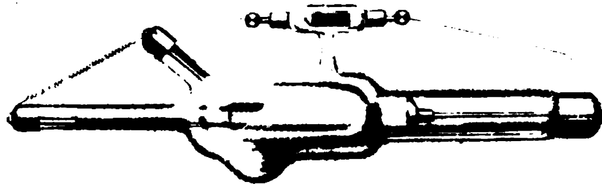


Figur 540.

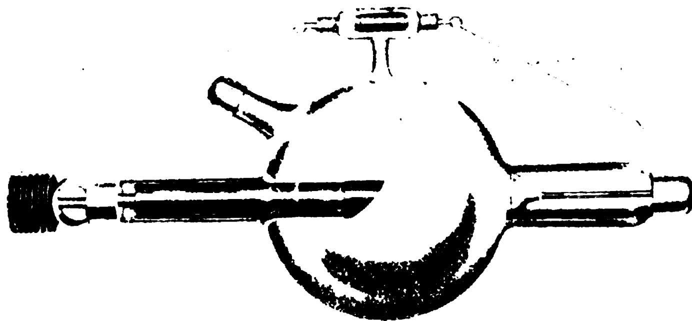
günstiger sind, die steil ansteigen, daher nutzt man nicht die ganze Phase aus, sondern schaltet Teile davon ab und erhält auch so einen Strom, der sich auch für den Röhrenbetrieb der Roentgentherapie sehr gut eignet. Diese Apparate haben den Vorteil, daß sie also sowohl für Aufnahmen, als auch für Therapie verwendet werden können, da der Gleichrichter so eingerichtet ist, daß er der Anwendung entsprechend geändert werden kann. Figur 540 zeigt einen solchen Eresco-Funkentransformator mit Gleichrichter.

2. Emil Gundelach, Gehlberg (Thüringen).

Von den neuen Roentgenröhren-Konstruktionen, welche im vorliegenden Buch nicht beschrieben werden konnten, verdienen besondere Beachtung die nachstehenden 3 Therapieröhren.



Figur 541.



Figur 542.

Die kleine Therapieröhre Tp, welche speziell für Haut-Therapie verwendet wird und in Figur 541 dargestellt ist. Kleine Roentgenröhren

mit geringem Fokus-Hautabstand wurden schon bisher verwendet. Diese Type ist nur dadurch dauerhafter und für höhere Leistung brauchbarer gestaltet worden, daß die schwere röhrenförmige Antikathode eingebaut wurde.

Für Tiefen-Therapie ist eine Tiefentherapie - Röhre TK (Figur 542) mit sehr metallreicher schwerer Antikathode konstruiert worden, welche mit Rippenkühlung versehen ist, wie bei der Intensivstromröhre und Konstantröhre (vergl. Seite 262/3). Diese Röhre wird sehr hart evakuiert und leistet ganz hervorragend gute Dienste für langandauernde Tiefenbestrahlung.

Außerdem ist aber noch für Dauerbetrieb bei Tiefenbestrahlung eine Röhrentype von besonders günstiger Form geschaffen worden, die Röhre für Preßluftkühlung (Figur 543).

Die Lage der Antikathode gestattet einen sehr geringen Fokus-Hautabstand. Die hohle Antikathode wird durch einen kräftigen Preßluftstrom so erfolgreich gekühlt (wobei auch die äußere Röhrenwand gleichzeitig mit kühl geblasen wird), daß ein mehrstündiger fast ununterbrochener Betrieb ermöglicht wird. Dazu wird eine zweckentsprechende Blende aus Bleiglas mit Zelluloidfenster mitgeliefert, auf welchem, beliebig auswechselbar, verschiedene Aluminiumfilter in Kappenform angebracht werden können (Figur 544).

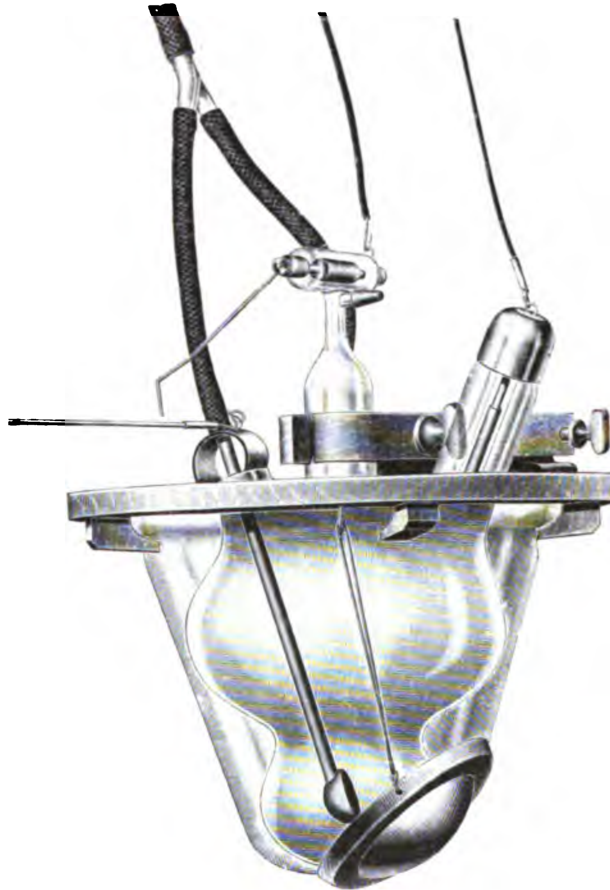


Figur 543.

Für die fast unerschöpfliche Kondensator-Regeneriervorrichtung wurden sogenannte Fern-Regenerier-Vorrichtungen konstruiert, die in Fig. 545 abgebildet sind. Durch diese Hilfsvorrichtungen kommen eigentlich die Vorzüge der Kondensator-Regenerierung erst voll zur Geltung.

Die Roentgenröhren, welche mit Gundelach-Regeneriervorrichtung versehen sind, sollen vor jeder Benutzung geprüft und regeneriert werden. Um das bequem und einfach bewirken zu können, empfiehlt sich die Benutzung einer, von der Roentgenröhre entfernt angebrachten Vorrichtung (Fig. 545), welche durch Zug an einer Schnur in Tätigkeit zu setzen ist. An dieser Vorrichtung, welche aus Hartgummi besteht, befinden sich

2 Kapseln mit herausziehbaren Stahlbändern, welche man an die Regenerier-Vorrichtung der Roentgenröhre anlegt. Die beiden Drahtbügel kommen dadurch in Wegfall. Bei länger andauernden Durchleuchtungen oder Bestrahlungen beseitigt man auch dadurch die Unannehmlichkeit, daß der Funke der Nebenschluß-Regenerierung dicht an der Röhre überschlägt, wodurch sehr häufig Patienten beunruhigt werden. Diese Vorrichtungen

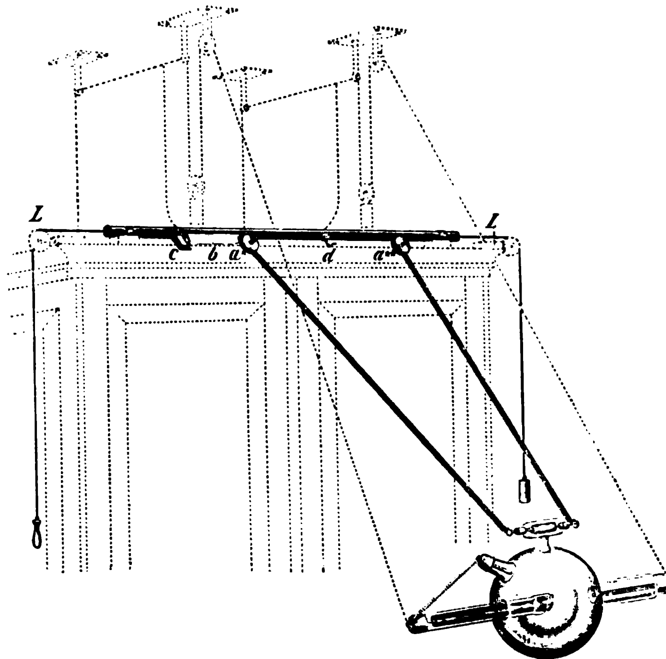


Figur 544.

werden je nach den örtlichen Verhältnissen entweder auf dem Apparatenschrank oder auf ein von der Decke herabhängendes, gestütztes Brett montiert. Die lange Regeneriervorrichtung besteht aus einer Hartgummiröhre, in welcher sich durch Gewicht und Zugschnur ein Hartgummistab hin- und herschieben läßt, auf welchem die Kapseln a^* und a^{**} mit Stahlbändern, welche als Zuleitungen dienen, befestigt sind. Mit der

Kapsel a* in Verbindung steht ein Messingstreifen *b*, der sich ebenfalls mit den Kapseln beim Zug an der Schnur hin und her bewegt.

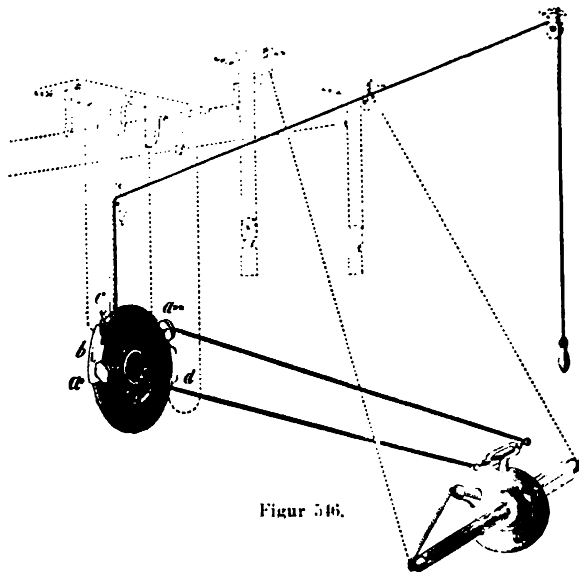
Bei Benutzung der Regeneriervorrichtung zieht man an dem Handgriff der Schnur, welche über zwei Leitrollen *L L* gleitet. Dann bewegen sich der Messingstreifen und die beiden Kapseln nach links. Der Messingstreifen wird zuerst die Schleiffeder *c* berühren, welche durch eine separate Zuleitung mit der Drahtleitung verbunden ist, welche nach der Anode resp. Antikathode der Roentgenröhre führt. Dadurch wird also der Kon-



Figur 515.

takt hergestellt zwischen Anode resp. Antikathode der Roentgenröhre und der positiven Kappe der Regeneriervorrichtung. Die Klemmschraube *d* mit seitlicher Spitze ist mit der Drahtleitung, welche nach der Kathode der Roentgenröhre führt, verbunden. Es wird nun beim Ziehen an der Schnur, nachdem der positive Kontakt hergestellt ist, zwischen *d* und *a*** ein Nebenschlußfunke überspringen, der um so länger sein wird, je härter die Röhre ist. Man zieht nun die Kapsel *a*** so nahe an die Klemmschraube *d* heran, daß der Nebenschlußfunke 5 cm lang ist und läßt nun die Vorrichtung so lange in dieser Stellung, bis die Funken dort nur noch vereinzelt überschlagen. Dann läßt man die Kapseln wieder in die Ruhelage zurückgleiten und die Regenerierung ist beendet.

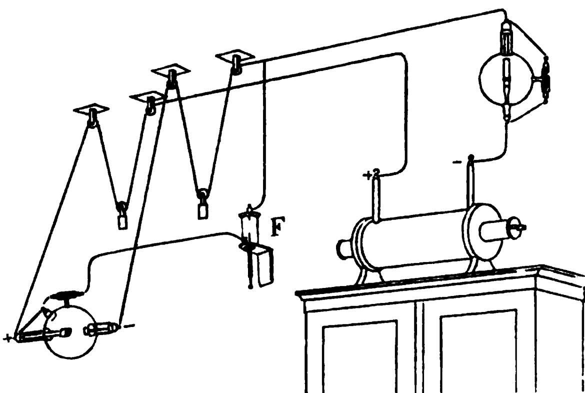
Die Raumverhältnisse gestatten es vielfach nicht, die lange Regeneriervorrichtung in Anwendung zu bringen. Es ist deshalb noch eine solche Vorrichtung aus 2 Hartgummischeiben konstruiert worden, welche im übrigen in gleicher Weise arbeitet. Die Einzelheiten sind ohne weiteres aus Figur 546 zu ersehen, bei welcher sich die Kathode rechts befindet. Wenn sich die Kathode links befindet, wird bei der Montage der scheibenförmigen Regeneriervorrichtung diese um 180⁰ verdreht, so daß die Kapsel *a*** mit den beiden Spitzen *d* sich auf der linken und die Kapsel *a** mit dem Messingstreifen auf der rechten Seite befindet. Der Knopf, an welchem sich die Zugschnur befindet, wird dann in das dafür bestimmte Loch auf der andern Seite geschraubt. Außerdem läßt sich auch die scheibenförmige Regenerierung auf dem Röhrenstativ, auf eine kurze Säule montiert, so anbringen, daß sich die Scheiben in horizontaler Lage befinden.



Figur 546.

Bei Tiefen-Therapie, wobei verhältnismäßig schwache Ströme lange Zeit hindurch zur Anwendung kommen, werden besonders solche Röhren, welche schon oft benutzt wurden, während des Betriebes härter. Damit nun der Härtegrad nicht eine zu gefährliche Höhe während der Bestrahlung erreicht, wendet man mit Vorliebe Roentgenröhren mit automatischer Regeneriervorrichtung an und stellt die Drahtbügel so ein, daß 2 Funkenstrecken an der Regeneriervorrichtung vorhanden sind, und zwar an der Kathodenseite eine solche von ca. 8—10 cm Länge und an der Anodenseite von 3 cm Länge. Dann wird der Härtegrad der Röhre auf der für die Tiefen-Therapie erforderlichen Höhe selbsttätig aufrecht erhalten und es wird die Gefahr vermieden, daß die Roentgenröhre vom Funken durchbohrt wird. Das Ueberschlagen der Funken an der Röhre selbst stört aber den Patienten, deshalb empfiehlt es sich, die Funkenstrecke der Kathodenseite an eine entferntere Stelle zu verlegen. (Der schwache 3 cm lange Funke an der Anodenseite stört nicht.) Zu dem Zweck ist die in

Figur 547 wiedergegebene regulierbare Funkenstrecke im Glaszylinder auf Holzkonsolchen konstruiert worden. Diese ist entweder an die Wand oder auch auf den Apparatenschrank zu montieren. Wenn ältere, oft gebrauchte Röhren bei Anwendung von 8—10 cm langen Nebenschlußfunken an der Kathodenseite nicht gleich ansprechen wollen, so verkürzt man diese Funkenstrecke vorübergehend auf etwa 4 cm, aber nur so lange Zeit, bis das Rohr eben beginnt, in Halbteilung aufzuleuchten. Dann stellt man diese Funken wieder auf eine Länge von 8—10 cm ein.



Figur 547.

3. C. H. F. Müller, Hamburg.

Den gesteigerten Anforderungen, die die Anwendung der Tiefen-Therapie an die Widerstandsfähigkeit der Röhren stellt, sind wir dadurch nachgekommen, daß wir sowohl Kathode wie Antikathode unseres Rapidrohres (siehe S. 264) und des Penetransrohres in der Metallmasse verstärkt und deren Wärmekapazität erhöht haben.

Gleichfalls den Anforderungen der Tiefen-Therapie folgend, ist zu dem Müller-Zangenrohr (siehe S. 265) eine Kühlzange konstruiert worden, deren hohle Schenkel für den Durchfluß einer Kühlflüssigkeit eingerichtet sind, wodurch eine intensive Kühlung der Antikathode und dadurch Konstanz des Härtegrades der Röhre bewirkt wird.

Eine Neuerung an Roentgenröhren ist durch die Verwendung von Siemens-Wolfram als Antikathodenmaterial erzielt worden. Die Vorteile liegen darin, daß der Schmelzpunkt des Wolfram-Metalles fast 1000° höher liegt, wie der des sonst allgemein zur Verwendung kommenden Platins. Dadurch eignen sich Wolframröhren insbesondere für höchste Belastungen, wie sie bei Momentaufnahmen zur Verwendung kommen. Mit Wolfram-Antikathoden werden die Müller- Rapid- und Mammutröhren ausgestattet.

4. Koch & Sterzel, Dresden.

Von den in letzter Zeit von uns herausgebrachten Neukonstruktionen auf den in diesem Buche behandelten Gebieten wären besonders die nach-



Figur 548.



Figur 549.



Figur 550.

stehend näher beschriebenen zwei neuen Unterbrecher-Typen und der Intermitteur - Zusatz - Unterbrecher zu erwähnen.

Der in Figur 548 abgebildete Einschlag - Unterbrecher*) besteht aus einem Unterbrechertopf mit eingebautem Quecksilbergefäß, einem von fern zu betätigendem Stromunterbrecher und großem Kondensator in Eichenholzkasten. Der Unterbrecher kann nur in Verbindung mit unserem Induktor Modell „Extrem" (siehe Seite 69) Verwendung finden und eignet sich besonders zur Herstellung von Lungen-, Herz-, Magen- und Darmaufnahmen mit einem einzigen Induktionsschlag. Für Zeit- und Momentaufnahmen ist ein separater Elektrolyt-Unterbrecher (siehe Seite 134 u. ff.) notwendig, für Durchleuchtungen und Therapie sollte dagegen ein Motor-Quecksilber-Unterbrecher verwandt werden.

*) Vergl. „Zeitschrift für Feinmechanik" Nr. 11 (1913).

Unser Motor-Quecksilber-Unterbrecher (Figur 549) ist zum Anschluß an eine Wechselstromleitung von 110 — 125 Volt Spannung eingerichtet und mit einem selbstanlaufenden Synchronmotor ausgestattet; er ist belastbar bis 12 Ampere. Der Unterbrecher kann jedoch auch mit anderen Spannungen betrieben werden, es ist dann aber ein Transformator einzuschalten.

Der bereits oben erwähnte Intermitteur-Zusatz-Unterbrecher, welchen Figur 550 zeigt, ist ein Spezial-Unterbrecher für Tiefen-Therapie. Er gibt die Möglichkeit, zwischen die einzelnen Stromstöße eine entsprechend lange Strompause zu legen, um dem Rohr Zeit zu lassen, die im Brennpunkt aufgespeicherte Wärmemenge über die ganze Metallfläche der Antikathode zu verteilen. Ein an der Grundplatte angebrachter Schieber-Rheostat ermöglicht eine Veränderung der Tourenzahl des Motors und dadurch ein Verlängern oder Verkürzen der einzelnen Stromstöße und Strompausen. Durch Betätigung eines Kurzschlußschalters kann man den Zusatzapparat abschalten und die Einrichtung auch ohne Intermitteur-Zusatz-Unterbrecher verwenden. Dieser Apparat ist besonders gedacht als Zusatzapparat für unsere Wechselstrom-Einrichtung, sowie für bereits bestehende Roentgen-Einrichtungen, bei denen eine Auswechselung des vorhandenen Quecksilber-Unterbrechers nicht stattfinden soll. Der Intermitteur-Zusatz-Unterbrecher ist zum Anschluß an Gleich- oder Wechselstrom jeder Spannung bis 250 Volt verwendbar.

5. Reiniger, Gebbert & Schall A.-G., Erlangen.

Der in Figur 551 dargestellte „Apex"-Spezial-Roentgenapparat für Tiefentherapie stellt den modernsten Typus eines Roentgenapparates für die Zwecke der Strahlenbehandlung dar, welche durch die noch vor kurzem ungeahnten Erfolge der Geschwulst-Therapie mit Roentgenstrahlen in den Vordergrund des Interesses getreten ist. Der Apparat ist ein Induktorapparat mit dem „Apex"-Spezialgasunterbrecher und gestattet vermöge der besonderen Unterbrechungsart desselben und infolge der Verwendung von Gas als Funkenlöschmittel eine sehr langandauernde und intensive Belastung der Roentgenröhre, wie sie in der modernen Tiefentherapie, namentlich in der Gynäkologie, gefordert wird. Die Strahlenart, welche bei Verwendung der später erwähnten Therapie-Roentgenröhre ausgesendet wird, zeigt bei Aufstellung von Absorptionskurven ein Verhältnis der Tiefendosis zu der auf die Haut applizierten Oberflächendosis, das erheblich günstiger ist als dasjenige bei den bisher verwendeten Apparaten. Außerdem ist durch die besondere Bauart des „Apex"-Unterbrechers ein sehr guter Nutzeffekt und dementsprechend ge-

ringer Stromverbrauch zu verzeichnen. Der Apparat wird an Gleichstrom direkt angeschlossen, bei Wechselstrom wird er mittels eines selbstanlaufenden Synchronmotors betrieben.

Das „Apex“-Doppelinstrumentarium für Tiefentherapie ist ein Apparat, welcher in seiner Konstruktion im

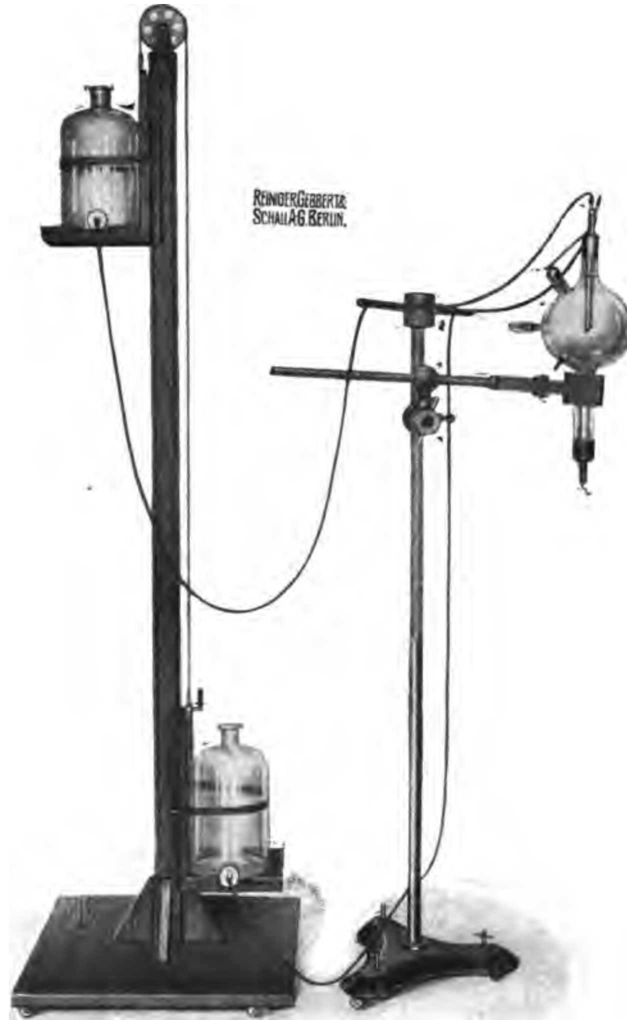


Figur 551.

wesentlichen dem vorhergehenden gleicht, aber durch geeigneten Anschluß von zwei von einander gänzlich unabhängigen Stromkreisen an den Gasunterbrecher den gleichzeitigen Betrieb von zwei Roentgenröhren mit demselben Instrumentarium ermöglicht. Die beiden Röhrensysteme können ganz gesondert von einander reguliert und ein- und ausgeschaltet werden. Im übrigen ist die Leistung

der Apparate, sowie die Strahlenqualität und Hautschonung ebenso günstig wie bei dem vorher beschriebenen Apparat. Der Apparat enthält einen Unterbrecher, aber z w e i Induktoren und Hochspannungsleitungen.

Beiden Apparaten ist die selbst bei intensivster Beanspruchung geringe



Figur 552.

Anforderung an Wartung und lange Benutzbarkeit gemeinsam infolge der Eigenschaft des Gasunterbrechers, im Gegensatz zu den früheren üblichen Unterbrechern mit organischen Löschflüssigkeiten, ein Verschlammen des Quecksilbers nicht eintreten zu lassen.

Die moderne Roentgen-Tiefentherapie hat die Ansprüche, welche an Strahlungsdauer und Intensität gestellt werden, derart gesteigert, daß nach Schaffung eines leistungsfähigen Instrumentariums sich vor allem das Bedürfnis ergab, auch über Roentgenröhren zu verfügen, welche imstande sind, bei ausreichender Lebensdauer die angewendeten hohen Dauerbelastungen zu ertragen. Diesem Bedürfnis der Praxis verdankt die RGS-Spezial-Tiefentherapieröhre „Dura" ihr Entstehen. Ihre wichtigste Eigenschaft ist die massive Ausführung der Kathode, welche eine bei anderen Röhren unvermeidliche starke Erhitzung und damit ein Unbrauchbarwerden der Röhre ausschließt, auf der anderen Seite die intensive Spülung der Antikathode, welche eine Konstanz der Röhrenhärte weitgehend verbürgt.

Der in der Figur 552 ersichtliche Zweiflaschenspül-Apparat gestattet eine so ausgiebige Wasserspülung, daß eine Erwärmung der Antikathode kaum bemerkbar wird. Zu der Röhre gehört eine Osmo-Fernregenerierung.

Zusammenstellung der Deutschen Reichspatente
aller in diesem Buche behandelten Gebiete vom Jahre 1897 bis Ende 1913.*)

1897.

Nr.

91 023. Siemens & Halske A.-G., Berlin: Hittorfsche Röhre mit Vorrichtung zur Entlüftung nach dem Malignamschen Verfahren. 24. III. 1896.

95 003. H. Boas, Berlin: Induktionsapparat. 19. I. 1897.

96 823. A. Wydts und O. Rochefort, Paris: Stromumwandler mit Isolierung für hohe Spannungen. 14. IV. 1897.

1898.

97 467. C. M. J. Bodien, Hamburg: Roentgenröhre mit zerstäubbarer Hilfskathode zur Regelung des Vakuums. 26. V. 1897.

97 491. A. Rzewuski, Davosplatz, Schweiz: Verfahren zur Einstellung der Elektroden an fertigen Fokusröhren. 24. VII. 1897.

97 887. J. C. Hauptmann, Leipzig: Transformator oder Funkeninduktor. 4. VIII. 1897.

100 298. W. A. Hirschmann, Berlin: Roentgenröhre mit Antikathodenschirm. 7. X. 1897.

100 591. J. Wertheimer, Paris: Vorrichtung zur Durchleuchtung und Beobachtung mittels Roentgenstrahlen. 3. VII. 1897.

1899.

102 210. Fabrik elektrischer Apparate von Dr. Max Levy, Berlin: Roentgenröhre mit besonderem Behälter zur Regulierung des Vakuums. 1. IX. 1898.

103 100. Emil Gundelach, Gehlberg i. Thür.: Verfahren zur Druckregelung in Roentgenröhren. 28. VI. 1898.

104 024. „Voltohm"-Elektrizitätsgesellschaft A.-G., München: Vorrichtung zum Aufsuchen und Markieren derjenigen Punkte, in denen die Oberfläche eines mit Roentgenstrahlen durchleuchteten Körpers von den durch einen bestimmten Punkt im Innern des Körpers gehenden Strahlen getroffen wird. 8. IV. 1898.

---

*) Die Zahlen am Schluß eines jeden Patentes bezeichnen das Datum des Beginnes des gesetzlichen Schutzes.

105 163. J. C. Hauptmann, Leipzig: Selbstkassierende Stromschlußvorrichtung zum Durchleuchten mit Crookes'schen Röhren u. dgl. 15. I. 1899.

106 576. Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft, Berlin: Platten zur Photographie mit Roentgenstrahlen. 27. I. 1897.

107 058. D. Mc. F. Moore, Newark, N.-J.: Einrichtung zur Verhinderung der störenden Wirkungen der Selbstinduktion bei Vakuumröhren — Beleuchtung mittels Extraströme. 17. V. 1898.

107 434. F. L. Volk u. W. J. Vesely, Prag: Einrichtung zur Beleuchtung mit Vakuumröhren. 23. VIII. 1898.

107 470. Dr. H. Th. Simon, Göttingen: Elektrischer Stromunterbrecher. 20. IV. 1899.

107 589. J. Wertheimer, Paris: Vorrichtung zur Durchleuchtung und Behandlung mittels Roentgenstrahlen; Zusatz z. Patent Nr. 100591. 5. XI. 1897.

108 682. Fabrik elektrischer Maschinen Dr. M. Levy, Berlin: Abblendvorrichtung für Roentgenstrahlen. 23. VI. 1897.

108 984. E. Gundelach, Gehlberg i. Thür.: Kathode für Vakuumröhren. 16. IV. 1899.

1900.

109 449. Emil Gundelach, Gehlberg i. Th.: Roentgenröhre. 16. IV. 1899.

109 659. W. A. Hirschmann, Berlin: Vorrichtung zur Regelung der Kondensatorwirkung an Funkeninduktoren. 13. I. 1899.

109 898. H. Wiegand, Gehlberg i. Th.: Vakuumröhre mit Einrichtung zur Regulierung des Vakuums. 22. VII. 1899.

110 106. Dr. Ch. Remy, Paris: Apparat zur Bestimmung der Lage eines schattenwerfenden Körpers aus zwei auf einem Schirm oder einer photographischen Platte aufgefangenen Schattenpunkten bei Untersuchungen mittels Roentgenstrahlen. 28. VI. 1899.

110 866. Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft, Berlin: Polarisationsphotometer zur Bestimmung der Durchdringungsfähigkeit von Roentgenstrahlen. 21. X. 1899.

111 317. Max Kohl, Chemnitz: Wechselstromunterbrecher für Funkeninduktoren. 8. VII. 1898.

112 464. J. Y. Johnson, London: Einrichtung zur selbsttätigen Aufrechterhaltung einer gleichbleibenden Gasverdünnung in Kathodenstrahlenlampen. 18. IV. 1899.

113 153. J. Y. Johnson, London: Einrichtung zur selbsttätigen Aufrechterhaltung einer gleichbleibenden Gasverdünnung in Kathodenstrahlenlampen. 18. IV. 1899.

113 430. C. H. F. Müller, Hamburg: Roentgenröhre mit durch Wasser gekühlter Antikathode. 21. V. 1899.

114 243. Allgemeine Elektricitäts - Gesellschaft, Berlin: Mit einem Quecksilberstrahl arbeitender Wechselstromunterbrecher zum Betriebe von Funkeninduktoren. 5. II. 1899.

114 245. E. Pabst, Köpenick bei Berlin: Roentgenröhre. 4. X. 1898.

114 455. Fabrik elektrischer Apparate Dr. Max Levy, Berlin: Roentgenröhre mit aus verschiedenen Stoffen zusammengesetzter Antikathode. 9. XI. 1899.

115 417. J. M. Davidson, London: Vorrichtung zur Erzeugung stereoskopischer Bilder auf einem fluoreszierenden Schirm mittels Roentgenstrahlen. 21. VI. 1899.

117 158. Allgemeine Elektricitäts - Gesellschaft, Berlin: Quecksilberstrahlunterbrecher und Schaltung zum wechselweisen Betriebe zweier oder mehrerer Funkeninduktoren mit einem Unterbrecher. 17. II. 1900.

1901.

118 814. W. A. Hirschmann, Berlin: Roentgenröhre mit regelbarem Vakuum. 28. VI. 1900.

119 307. M. Erhardt, Berlin: Apparat zur Erzeugung von Roentgenstrahlen mit wassergekühlter Antikathode. 1. VIII. 1899.

120 578. F. Klingelfuß, Basel: Spulenaufbau für hochgespannte Ströme. 21. XI. 1899.

121 966. Elektrotechnisches Institut G. m. b. H. und C. Beez, Frankfurt a. M.: Vorrichtung zur unmittelbaren Erzeugung nach einer Seite gerichteter Kathodenstrahlen mittels hochgespannter Wechselströme. 11. VII. 1900.

122 174. E. Volkmar, Charlottenburg: Induktionsapparat, bei welchem die Primär- und Sekundärspulen gegeneinander verschiebbar sind. 2. III. 1900.

123 064. F. de Mare, Brüssel: Vakuumröhre mit Flüssigkeitskühlung. 4. II. 1900.

123 676. Voltohm, Elektrizitäts - Gesellschaft A. - G., München: Vorrichtung, um mittels Roentgenstrahlen einen Gegenstand in seiner wahren Form und Größe nach seinem Schattenbild zu zeichnen. 20. III. 1900.

124 075. E. Gundelach, Gehlberg i. Th.: Vakuumrohr. 17. III. 1901.

124 160. J. Scott, R. Varley und J. Ch. Anderson, Jersey: Verfahren zur gleichzeitigen Herstellung mehrerer Spulen von gleichen Abmessungen für elektrotechnische Zwecke. 7. VIII. 1900.

124 265. H. Rüpp, Ilmenau i. Th.: Regelbarer Trommelunterbrecher für Funkeninduktoren. 27. II. 1901.

125 829. Allgemeine Elektricitäts - Gesellschaft, Berlin: Roentgenröhre mit gekühlter Antikathode. 10. III. 1901.

126 741. W. A. Hirschmann, Berlin: Einrichtung zur Kühlung der Antikathode bei Roentgenstrahlen. 20. XII. 1900.

128 022. J. Carpentier, Paris: Stromunterbrecher für Induktionsspulen. 22. III. 1901.

1902.

129 906. J. P. H. Gjerulff, Kopenhagen: Einrichtung zur Erzeugung mehrerer gleichzeitiger Funkenentladungen mittels eines einzigen Funkeninduktors. 7. IX. 1901.

129 974. Reinhold Burger, Berlin: Vorrichtung zur Erzeugung von Roentgenstrahlen. 19. IV. 1901.

130 123. The Moore Electrical Company, New-York: Verfahren zur Erhöhung der Leuchtwirkung von Vakuumröhren. 21. I. 1900.

132 243. Salomon Rindauer, Budapest: Einrichtung zur Erzeugung von Roentgenstrahlen. 22. II. 1901.

135 737. Siemens & Halske A.-G., Berlin: Verfahren und Vorrichtung zum Betriebe von Roentgenröhren mit Wechselstrom. 21. IX. 1901.

135 841. Hans Boas, Berlin: Schaltung zum Betriebe von Funkeninduktoren für Roentgenstrahlenerzeugung. 15. III. 1902.

137 146. Dr. Th. Guilloz, Nancy: Roentgenröhre mit unschmelzbaren Elektroden. 13. IV. 1902.

137 349. Siemens & Halske, A.-G., Berlin: Verfahren, um mittels einer allseitig verschiebbaren Roentgenröhre einen Gegenstand in seiner wahren Form und Größe zu photographieren. 18. X. 1901.

137 593. Friedrich Dessauer, Aschaffenburg: Roentgenröhre. 29. V. 1902.

137 810. Allgemeine Elektricitäts - Gesellschaft, Berlin: Zeichenapparat zur parallelprojektivischen Aufnahme von Roentgenbildern. 1. XI. 1901.

138 857. Friedrich Dessauer, Aschaffenburg: Roentgenröhre. 11. IV. 1902.

1903.

139 580. Dr. Georg Seibt, Berlin: Resonanzinduktorium. 16. VII. 1902.

141 810. Hans Boas, Berlin: Verfahren zur Herstellung von Isolationsscheiben für Funkeninduktoren. 24. IX. 1902.

142 424. Rich. Seifert & Co., Hamburg: Vorrichtung zur Bestimmung der Härte von Roentgenröhren mit Härteskala. 7. X. 1902.

142 871. Ernst Ruhmer, Berlin: Strahlenempfindliche Zelle zur Bestimmung der Intensität von Roentgen- und ähnlichen kurzwelligen Strahlen. 1. X. 1902.

142 872. Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft, Berlin: Apparat zur parallelprojektivischen Aufnahme von Roentgenbildern. Zusatz z. Pat. 137 810. 1. I. 1903.

143 760. Nicolas Vasilesco-Karpen, Paris: Wechselstrominduktor. 9. XI. 1902.

143 896. Rich. Seifert & Co., Hamburg: Härteskala für Roentgenröhren. 7. X. 1902

145 788. Albert Friedländer, Berlin: Roentgenröhre mit Regelungssubstanzen für die Gasdichte. 6. VI. 1902.

146 264. Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen: Roentgenröhre mit Vorrichtung zur Veränderung des Härtegrades. 24. II. 1903.

146 505. W. A. Hirschmann, Berlin: Roentgenröhre. 25. XII. 1901.

148 316. Reinhold Burger, Berlin: Verfahren zur Herstellung eines metallischen Wärmeleiters für die Antikathode von Roentgenröhren. 24. III. 1903.

148 580. Charles F. Splitdorf, Manhattan, V. St. A.: Gehäuse für Induktorspulen. 16. VI. 1902.

148 581. Elektrizitäts-A.-G. vorm. W. Lahmeyer & Co., Frankfurt a. M.: Einrichtung zur Veränderung der Selbstinduktion von Spulen. 29. III. 1903.

148 752. W. A. Hirschmann, Berlin-Pankow: Roentgenröhre. Zusatz z. Pat. 146 505. 20. IX. 1902.

148 791. Elektrizitäts-A.-G. vorm. W. Lahmeyer & Co., Frankfurt a. M.: Einrichtung zur Veränderung der Selbstinduktion von Spulen. 21. IV. 1903.

149 033. Ernst Ruhmer, Berlin, und Dr. S. Kalischer, Berlin: Verfahren zur Wicklung von sektionsweise aufgebauten Sekundärspulen von Funkeninduktoren. 30. IV. 1903.

1904.

149 200. Dr. L. Sell, Berlin: Magnetelektrischer Funkeninduktor. 9. XII. 1902.

151 154. Dr. Guido Holzknecht, Wien: Prüfmittel zur Bestimmung der Intensität von Roentgenstrahlen. 14. VIII. 1903.

151 237. C. H. F. Müller, Hamburg: Einstellbare Kathode für Roentgenröhren. 1. IV. 1903.

151 413. Dr. M. Krouchkoll, Paris: Roentgenröhre mit Einrichtung zur Druckregelung. 30. III. 1902.

154 137. Charle Le G. Fortescue, Wilkinsburg, V. St. A.: Spule für elektrische Apparate. 31. XII. 1903.

154 870. W. A. Hirschmann, Pankow-Berlin: Funkeninduktor mit rotierendem Stromunterbrecher. 5. II. 1904.

156 389. Siemens & Halske, A.-G., Berlin: Verfahren und Apparat zum Durchleuchten von Körperteilen mittels Roentgenstrahlen. 3. IV. 1902.

156 625. Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft, Berlin: Apparat zur zentralprojektivischen Aufnahme von Roentgenbildern. 20. IX. 1900.

156 746. Siemens & Halske, A.-G., Berlin: Roentgenröhre. 25. XI. 1903.

157 279. Rich. Seifert & Co., Hamburg: Apparat zum Messen der Schärfe des Brennpunktes einer Roentgenröhre. 11. III. 1904.

157 696. Varley Duplex Magnet Company, New-York: Selbstunterbrecher von Induktionsspulen. 17. II. 1904.

157 772. von Raden & Co., Ltd., Coventry, England: Kontaktvorrichtung für Induktorien. 8. X. 1903.

1905.

158 390. Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft, Berlin: Schaltung von Gleichrichtern mit gas- oder dampfförmigem Leiter und mehreren der Wechselstromleiterzahl entsprechenden Arbeitsanoden. 22. V. 1904.

158 759. Cooper-Hewitt Electric Company, New-York: Verfahren, elektrische Ströme hoher Spannung und großer Stärke funkenlos zu unterbrechen. 25. VI. 1903.

159 916. Myl. Ehrhardt, Berlin: Roentgenröhre mit einer aus einer Hilfskathode bestehenden Vakuum-Reguliervorrichtung. 12. III. 1904.

160 394. Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft, Berlin: Isolierung von Widerstands-, Magnet-, Transformatorenwicklungen oder dergl. 19. XI. 1904.

161 514. C. H. F. Müller, Hamburg: Vorrichtung zur Vermehrung des Luftinhaltes von Roentgenröhren. 16. II. 1901.

161 979. Koch & Sterzel, Dresden: Roentgenröhre für Wechselstrom oder unreinen Gleichstrom. 12. VII. 1904.

162 116. Hans Boas, Berlin: Verfahren zum Aufbau der Sekundärspulen von Funkeninduktoren. 3. I. 1905.

162 369. „Polyphos" Elektrizitäts-Gesellschaft m. b. H., München: Roentgenröhre mit im Innern angebrachter Blende. 6. X. 1904.

162 725. Ernst Ruhmer, Berlin: Glimmlicht - Oszillographenröhre. 23. XI. 1904.

163 882. Franz Pawlowski, Wien: Gleichrichterzelle mit festem Elektrolyten. 2. VIII. 1904.

164 570. W. A. Hirschmann, Pankow-Berlin: Roentgenröhre mit Wasserkühlung für die Antikathode. 22. III. 1905.

165 138. Siemens & Halske, A.-G., Berlin: Roentgenröhre. 8. XI. 1904.

165 742. Max Becker & Co., Hamburg: Schutzmantel für die Kathode und Antikathode von Roentgenröhren. 3. V. 1905.

166 231. Koch & Sterzel, Dresden: Roentgenröhre für Wechselstrom oder unreinen Gleichstrom; Zusatz z. Pat. No. 161 979. 11. I. 1905.

167 067. Ernst Ruhmer, Berlin: Verfahren und Vorrichtung zur Messung der Stromstärke in Roentgenröhren. 13. IV. 1905.

167 709. Heinz Bauer, Berlin: Roentgenröhre. 5. IV. 1905.

167 710. Ernst Ruhmer, Berlin: Glimmlicht-Oszillographen-Röhre; Zusatz z. Pat. 162 725. 21. VII. 1905.

1906.

169 566. Emil Gundelach, Gehlberg i. Thür.: Roentgenröhre mit Wasserkühlung. 24. VI. 1904.

170 189. Heinz Bauer, Berlin: Roentgenröhre mit Wasserkühlung. 23. II. 1905.

173 738. Heinz Bauer, Berlin: Roentgenröhre für starke Beanspruchung. 23. II. 1905.

174 788. Koch & Sterzel, Dresden: Vakuum-Ventilröhre. 22. III. 1905.

174 949. Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen: Verfahren zur Bestimmung der Roentgenlichtmenge. 11. XII. 1904.

174 952. Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen: Verfahren zur Bestimmung der Roentgenlichtmenge; Zusatz zum Patent 174949. 9. XII. 1905.

175 455. Elektrotechnisches Laboratorium und Friedrich Dessauer, Aschaffenburg: Verfahren zur Herstellung elastischer Schutzblenden gegen die schädlichen Einwirkungen der Roentgen- und radioaktiven Strahlen bei therapeutischen Behandlungen. 25. IX. 1904.

176 003. C. H. F. Müller, Hamburg: Roentgenröhre mit Kühlung der Antikathode; Zusatz z. Pat. 113 430. 17. V. 1905.

176 008. Siemens & Halske, A.-G., Berlin: Roentgenröhre. 15. III. 1905.

176 009. Robert Hopfelt, Berlin: Verfahren zur Herstellung von Spulen für elektrische Zwecke. 29. VII. 1905.

177 666. Heinz Bauer, Berlin: Roentgenröhre. 19. IV. 1905.

178 453. Braun & Bockmann, G. m. b. H., Mannheim: Verfahren zur Herstellung von Induktionsspulen mit nebeneinanderliegenden abwechselnd entgegengesetzt gewundenen Spulenscheiben. 18. V. 1905.

178 467. Dr. Franz Nagelschmidt, Berlin: Anordnung zum Aufhängen von Kistenblenden für Roentgenröhren. 15. IV. 1905.

179 502. Willy Meisel, Breslau: Verfahren zur Herstellung eines von Roentgenstrahlen undurchleuchtbaren Stoffes. 20. I. 1905.

179 807. Robert von Lieben, Wien: Kathodenstrahlenrelais. 4. III. 1906.

180 226. Koch & Sterzel, Dresden: Einrichtung zur Speisung von Roentgenröhren und anderen mit Stromstößen einer Richtung zu betreibenden Apparaten aus einer Hochspannungs-Wechselstromquelle. 31. I. 1905.

180 431. Fabrik elektrischer Maschinen und Apparate Dr. Max Levy, Berlin: Verfahren zum Betrieb von Roentgenröhren mit hochgespanntem Wechselstrom. 11. IV. 1905.

181 257. Dr. Isak Robinsohn, Wien: Rohrblende für Untersuchungen mit Roentgenstrahlen. 16. III. 1906.

1907.

182 080. C. H. F. Müller, Hamburg: Anordnung zum Regulieren der Luftdichte in Vakuum- insbesondere Roentgen-Röhren. 15. IV. 1906.

182 114. Rich. Seifert & Co., Hamburg: Vorrichtung zum Betriebe von Roentgenröhren mit Wechselstrom. 15. VII. 1904.

183 257. Felten & Guilleaume-Lahmeyerwerke A.-G., Frankfurt a. M.: Verfahren und Einrichtung zur Verkürzung der Erregungs- und Entregungszeit von mit Selbstinduktion behafteten Spulen. 21. IV. 1906.

183 324. „Polyphos" Elektrizitätsgesellschaft m. b. H., München: Elektrode für Vakuumröhren. 5. VIII. 1906.

184 506. Ignacy Moscicki, Freiburg i. Schweiz: Einrichtung, um eine fortwährende Ueberbrückung eines oder mehrerer Elektrodenabstände mit zur Zündung nicht genügend hochgespanntem Wechselstrom herbeizuführen. 18. I. 1906.

184 707. Friedrich Dessauer, Aschaffenburg: Vorrichtung zum Verteilen hochgespannter Wechselströme in gleichzeitig arbeitenden Roentgenröhren. 15. X. 1905.

185 218. Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen: Vorrichtung zur zeichnerischen Darstellung von Roentgenbildern. 23. III. 1906.

185 219. Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen: Vorrichtung zur zeichnerischen Darstellung von Roentgenbildern; Zusatz z. Pat. 185 218. 23. V. 1906.

185 220. Dr. Ernst Gehrcke, Berlin: Glimmlicht-Oszillographenröhre. 3. VIII. 1906.

185 613. Hermann Charles Mueller, Fond du Lac, V. St. v. A.: Induktionsapparat. 27. VI. 1905.

185 614. Dr. Th. Guilloz, Nancy: Roentgenröhre. 5. VIII. 1905.

186 594. Robert Hartwig, Berlin: Roentgenröhre mit unmittelbarer Zuführung von Gasen zur Regelung des Luftdruckes. 15. III. 1906.

187 910. Fabrik elektrischer Maschinen und Apparate Dr. Max Levy, Berlin: Roentgenröhre für hochgespannten Wechselstrom. 21. II. 1905.

187 969. Koch & Sterzel, Dresden: Einrichtung zur Speisung von Roentgenröhren und anderen mit Stromstößen einer Richtung zu betreibenden Apparaten aus einer Hochspannungswechselstromquelle. Zusatz z. Pat. 180 226. 8. VII. 1905.

188 247. Siemens & Halske, A.-G., Berlin: Instrument zur Ermittlung des Normalstrahles einer Roentgenröhre und zur Fixierung seines Fußpunktes. 19. V. 1906.

188 248. „Polyphos" Elektrizitätsgesellschaft m. b. H., München: Roentgenröhre mit besonderer Antikathode. 19. X. 1906.

188 281. Koch & Sterzel, Dresden: Einrichtung zur Speisung von

Roentgenröhren und anderen mit Stromstößen einer Richtung zu betreibenden Apparaten aus einer Hochspannungswechselstromquelle. Zusatz z. Pat. Nr. 187 969. 24. XI. 1905.

188 536. „Polyphos" Elektrizitäts-Gesellschaft m. b. H., München: Roentgenröhre mit im Innern angebrachter Blende. 6. III. 1905.

191 209. Dr. Wilhelm Balser, Köppelsdorf b. Sonneberg i. Thür.: Biegsame Decke zum Schutz des Körpers gegen die schädlichen Einwirkungen der Röntgenstrahlen. 21. I. 1905.

191 613. Jakob Stepanoff, Nowgorod, Rußl.: Apparat zur Roentgenoskopie der Zahnwurzeln, Kieferknochen usw. 16. V. 1906.

191 898. „Polyphos" Elektrizitäts-Gesellschaft m. b. H., München: Vakuum-Ventilröhre. 23. IV. 1907.

191 930. Otto Scheller, Steglitz: Veränderliche Selbstinduktion. 17. III. 1907.

192 292. Fabrik elektrischer Maschinen und Apparate Dr. Max Levy, Berlin: Anordnung zur Erzielung ungleicher positiver und negativer Wechselstromhochspannungen zum Betrieb von Roentgen- oder anderen Vakuumröhren. 9. IX. 1905.

192 293. Fabrik elektrischer Maschinen und Apparate Dr. Max Levy, Berlin: Vorrichtung zur Erzielung von deformierten ununterbrochenen Wechselstromkurven. Zusatz z. Pat. 192292. 9. III. 1906.

192 294. Dr. Gottwald Schwarz, Wien: Prüfzelle zur Bestimmung der Intensität von Roentgenstrahlen. 8. I. 1907.

192 571. Max Kohl, Chemnitz: Halte- und Stellvorrichtung für Roentgenröhren. 25. XII. 1906.

192 975. Dr. Wilhelm Balser, Köppelsdorf b. Sonneberg i. Thür.: Biegsame Decke zum Schutz des Körpers gegen die schädlichen Einwirkungen der Roentgenstrahlen. Zusatz z. Pat. 191 209. 6. XI. 1905.

194 258. Vereinigte Elektrotechnische Institute Frankfurt-Aschaffenburg m. b. H., Aschaffenburg: Schreibvorrichtung für den Orthoroentgenographen. 1. VIII. 1906.

196 627. Louis & H. Loewenstein, Berlin: Verfahren zur Herstellung von Roentgenbildern mit einer zwischen Roentgenröhre und Aufnahmeobjekt angeordneten Blende. 5. VII. 1906.

1908.

196 844. Reiniger, Gebbert & Schall A.-G., Erlangen: Einrichtung zur Erzeugung von Roentgenstrahlen mittels eines von einer Wechselstromquelle über eine Ventilzelle und einen elektrolytischen Unterbrecher gespeisten Induktoriums. 17. IX. 1907.

196 909. „Polyphos“ Elektrizitäts-Ges. m. b. H., München: Vorrichtung zur Durchleuchtung von Körpern mit Roentgenstrahlen. 29. IV. 1905.

196 990. „Polyphos“ Elektrizitäts-Ges. m. b. H., München: Vorrichtung zur Durchleuchtung von Körpern mit Roentgenstrahlen. Zusatz z. Pat. 196 909. 12. III. 1907.

197 033. André Blondel, Paris: Schaltung zum Antrieb von Quecksilberstrahlunterbrechern zum Betrieb von Funkeninduktoren durch einen von den unterbrochenen Strömen gespeisten Motor. 30. I. 1907.

197 354. Vereinigte Gummiwaarenfabriken Harburg-Wien, vorm. Menier — J. N. Reithoffer, Harburg, Elbe: Hohlsonde aus einem formbaren Stoffe (Gummi oder dgl.) mit Abflußöffnung zur Untersuchung mittels Roentgenstrahlen. 4. XII. 1906.

198 515. Louis & H. Löwenstein, Berlin: Kompressionseinrichtung für Roentgenaufnahmen. 8. X. 1907.

199 292. C. H. F. Müller, Hamburg: Roentgenröhre zur gleichzeitigen Bestrahlung mehrerer Objekte. 19. XI. 1907.

199 355. Siemens & Halske, A.-G., Berlin: Vorrichtung zur stereoskopischen Ausmessung von Roentgenbildern für die Betrachtung mit gekreuzten Sehachsen. 5. V. 1906.

200 350. Siemens & Halske A.-G., Berlin: Spulenwicklung mit großem Leitungsquerschnitt. 22. VIII. 1907.

201 110. Reiniger, Gebbert & Schall A.-G., Erlangen: Vorrichtung zur Durchleuchtung und photographischen Aufnahme mittels Roentgenstrahlen. 4. II. 1908.

202 267. Dr. Wilhelm Balser, Köppelsdorf b. Sonneberg, S.-M.: Gewebe zum Schutz gegen Roentgenstrahlen aus Fäden mit schwermetallhaltigen Stoffen. 25. XI. 1906.

202 574. Dr. Friedrich Paschen, Tübingen: Verfahren zur Reglung bezw. selbsttätigen Aufrechterhaltung des Härtegrades von Roentgenröhren mittels Holz- oder Kokosnußkohle. 13. VI. 1907.

203 550. C. H. F. Müller, Hamburg: Roentgenröhre. 21. XII. 1907.

204 360. C. H. F. Müller, Hamburg: Vakuumreguliervorrichtung für Roentgenröhren mit einer Luft oder Gas abscheidenden Hilfselektrode. 3. IV. 1908.

204 601. Siemens & Halske, A.-G., Berlin: Spulenwicklungen mit großem Leitungsquerschnitt. 22. VIII. 1907.

204 872. Dr. Paul Harraß, Schöneberg: Einrichtung zur Feststellung des Härtegrades von Roentgenröhren durch mit einem Metallstück versehene Leichenteile. 23. II. 1908.

204 929. Siemens & Halske, A.-G., Berlin: Roentgenröhre. 3. I. 1908.

205 757. Arnold Bombe, Steglitz: Roentgenröhre mit Umlauf- oder Kaminkühlung. 22. VI. 1907.

205 827. Reiniger, Gebbert & Schall A.-G., Erlangen: Induktionsapparat mit elektrolytischen Unterbrechern für Dreileiternetze. 26. VII. 1908.

1909.

207 854. Oskar Hulschiensky, Berlin: Verfahren zur Erhöhung des Anodenfalls in einem Entladungsraum. 6. III. 1908.

207 939. Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft, Berlin: Befestigung der Wicklungsenden von Spulen für elektrische Maschinen und Apparate. 9. V. 1908.

207 954. B. Jirotka, Berlin: Mehrteilige asymmetrische Funkenstrecke. 8. V. 1907.

208 309. A. P. H. Trivelli, Scheveningen: Verfahren zur Darstellung stark radioaktiver Körper aus Uran oder Uranverbindungen durch Bestrahlung mit Kathoden- oder Roentgenstrahlen im Vakuum. 1. II. 1907.

208 838. Georg Braun, München: Vorrichtung zur Erzeugung von Elektrizität durch Influenzierung bewegter, im gewöhnlichen Zustande nichtleitender Gase oder Dämpfe. 16. VII. 1907.

209 077. „Polyphos" Elektrizitäts-Ges. m. b. H., München: Vakuum-Ventilröhre. 18. X. 1907.

209 969. Emil Gundelach, Gehlberg i. Thür.: Ventilröhre. 10. XI. 1908.

210 701. G. O. Larsson, Stockholm: Verfahren zur Herstellung von mehreren hintereinander geschalteten scheibenförmigen Spulen aus einem fortlaufenden Draht. 22. II. 1908.

210 833. Max Kohl, Chemnitz i. Sa.: Leuchtschirm zur Aufnahme der Roentgenstrahlen bei Auskultation innerer Organe. 3. IX. 1908.

211 488. Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft, Berlin: Aus Flachkupfer gewickelte Spule für elektrische Maschinen und Apparate. 31. XII. 1908.

211 489. Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft, Berlin: Aus Flachkupfer gewickelte Spule für elektr. Maschinen und Apparate. 3. I. 1909.

212 166. B. Jirotka, Berlin: Roentgenröhre mit Flüßigkeitskühlung. 17. XI. 1907.

212 564. Dr. R. Fürstenau, Charlottenburg: Roentgenröhre. 28. I. 1909

212 992. Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., Erlangen: Verfahren und Vorrichtung zur Aufnahme von stereoskopischen Roentgenbildern. 2. IX. 1908.

215 180. Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., Erlangen: Verfahren zum Betriebe von Roentgenröhren, insbesondere für Moment-Aufnahmen. 23. X. 1908.

215 648. Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., Erlangen: Kinematographischer Aufnahmeapparat für Roentgenbilder. 22. IV. 1908.

215 649. Heinz Bauer, Berlin: Photographische Platte für Roentgenaufnahmen. 18. VI. 1907.

215 671. Emil Gundelach, Gehlberg in Thüringen: Roentgenröhre. 27. XI. 1907.

216 353. C. H. F. Müller, Hamburg: Mehrteilige Ventilröhre für Roentgenröhren. 17. X. 1908.

217 242. Dr. R. Fürstenau, Charlottenburg: Vorrichtung zum Fernhalten von Strömen verkehrter Richtung aus der Roentgenröhre. 7. IV. 1909.

1910.

219 083. Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H., Berlin: Magnetischer Kern, besonders für offene Induktoren. 6. XII. 1908.

219 584. Dr. M. V. Maragliano, Genua: Roentgenröhre. 22. IX. 1908.

220 449. Dr. Stefan Jermulowicz, Berlin, und Mieczyslaw Wolfke, Breslau: Kathodenstrahlröhre mit einem Glasfensterchen zum Herauslassen der Kathodenstrahlen. 2. III. 1909.

222 027. Louis & H. Loewenstein, Berlin: Kontrollgerät zur Messung der Roentgenlichtmenge während der Belichtung. 16. II. 1908.

223 654. A. F. Lindemann u. F. A. Lindemann, Sidholme, England: Roentgenröhre. 15. IV. 1908.

223 655. Eugen Blum und W. A. Winter, Cöln-Ehrenfeld: Vakuumröhre. 9. XII. 1909.

224 114. Dr. R. Fürstenau, Charlottenburg: Vorrichtung zur Messung der Härte von Roentgenstrahlen durch die Einwirkung der Roentgenstrahlen auf eine Zelle aus Selen oder ähnlichem, den elektrischen Widerstand unter Einfluß von Belichtung änderndem Material. 25. VII. 1909.

225 497. Hartmann & Braun, A.-G., Frankfurt a. M.: Gasdichte Elektrodeneinführung. 2. XII. 1909.

225 504. Iwan Lanzewitsch, St. Petersburg: Zentriervorrichtung für Blenden von Roentgenapparaten. 12. VIII. 1909.

225 603. Heinz Bauer, Berlin: Härtemesser für Roentgenröhren. 6. XII. 1908.

225 604. C. H. F. Müller, Hamburg: Kühlvorrichtung für Roentgenröhren mit einem in das Kühlgefäß lose einsetzbaren Kühlstab. 16. IV. 1909.

225 777. „Polyphos“ Elektrizitäts-Ges. m. b. H., München: Vorrichtung zur Herstellung kinematographischer Roentgenaufnahmen auf einzelnen rasch gewechselten Schichten. 7. VIII. 1908.

227 272. Robert Campe, Berlin, und Dr. Erich Regener, Wilmersdorf: Roentgenröhre mit einem für die Roentgenstrahlen gut durchlässigen Fenster. 25. XII. 1909.

227 276. Dr. Fr. Röver, Bremen: Traggestell für einen in einem Gestelle aufgehängten Roentgenapparat, dessen Röhre starr mit dem Schirm verbunden ist. 17. III. 1910.

227 500. Dr. A. Megardi, Padua (Ital.): Apparat zur Augenuntersuchung mittels Roentgenstrahlen. 16. XII. 1909.

228 010. Hartmann & Braun, A.-G., Frankfurt a. M.: Elektroden-Einführung in geschlossene Metallgefäße. 10. V. 1910.

228 930. Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., Erlangen: Roentgenröhre mit Luftkühlung. 11. XI. 1909.

229 610. P. H. Eijkman, Scheveningen (Holl.): Verfahren zur gleichzeitigen photographischen und roentgenographischen Sichtbarmachung desselben Objektes. 21. I. 1909.

229 894. Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., Erlangen: Verstärkungsschirm für photographische Roentgenaufnahmen. 2. II. 1910.

1911.

230 393. Werner Otto, Berlin: Zeitschalter für Roentgenzwecke. 2. IV. 1909.

230 877. R. Burger & Co., Berlin: Vorrichtung zur Reglung des Druckes in Roentgenröhren. 10. II. 1910.

230 964. Dr. Gustav Bucky, Berlin: Lichtunempfindliche Platten (Films, Papiere usw.) für Roentgenaufnahmen. 11. III. 1909.

231 692. „Polyphos“ Elektrizitäts-Ges. m. b. H., München: Induktions-Apparat mit je aus mehreren Abteilungen bestehender Sekundär- und Primärwickelung. 12. XII. 1908.

232 368. „Polyphos“ Elektrizitäts-Ges. m. b. H., München: Roentgenröhre mit einem vor der Antikathodenfläche befindlichen Auffangkörper. 27. IV. 1910.

232 945. Hugo Scherff, Leipzig-Plagwitz: Vorrichtung an Spulenwickel-Maschinen für Elektromagnetspulen, Induktionsrollen usw. 23. II. 1910.

233 420. „Polyphos“ Elektrizitäts-Ges. m. b. H., München: Funkeninduktor mit offenem Kern. 11. VIII. 1907.

234 517. Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., Erlangen: Vorrichtung zur Messung der Energie der Roentgenstrahlen mittels einer Ionisationszelle. 2. IV. 10.

234 976. Dr. S. Laureys, Antwerpen: Vorrichtung zur Reglung der Härte von Roentgenröhren. 3. III. 1910.

235 218. Veifa-Werke, Vereinigte Elektrotechnische Institute, Frankfurt-Aschaffenburg m. b. H. und Friedrich Des-

sauer, Aschaffenburg: Regelvorrichtung für Funkeninduktoren. 27. IX. 1910.

235 241. Dr. S. Laureys, Antwerpen: Vorrichtung zur Reglung der Härte von Kathoden- oder Roentgenröhren. 3. III. 1910.

235 268. Hartmann & Braun, A.-G., Frankfurt a. M.: Gasdichte Elektrodeneinführung; Zusatz zum Patent 225 497. 25. XI. 1910.

236 256. Friedrich Lauer, Morgstetten, (Württ.): Induktions-Apparat für elektromedizinische Zwecke. 5. IV. 1910.

236 405. Veifa-Werke, Vereinigte Elektrotechnische Institute, Frankfurt-Aschaffenburg m. b. H. u. Friedrich Dessauer, Aschaffenburg: Verfahren zum Betriebe von Roentgenröhren und ähnlichen Hochspannungsapparaten mit hochgespanntem Wechselstrom. 15. XI. 1910.

237 015. Veifa-Werke, Vereinigte Elektrotechnische Institute, Frankfurt-Aschaffenburg m. b. H., Frankfurt a. M.-Bockenheim: Verfahren zur Herstellung von Roentgenstrahlenverstärkungsschirmen. 4. VIII. 1910.

237 099. Veifa-Werke, Vereinigte Elektrotechnische Institute, Frankfurt-Aschaffenburg u. Fr. Dessauer, Aschaffenburg: Einrichtung zum Messen der Projektionsschärfe von Roentgenröhren. 7. XII. 1910.

238 600. L. Elkan Erben, G. m. b. H., Berlin-Westend.: Schattenbildender Körper bei der Roentgen-Untersuchung der Verdauungswege und anderer Körperhöhlen. 2. VIII. 1910.

239 383. „Polyphos" Elektrizitäts-Ges. m. b. H., München: Vorrichtung zur Herstellung kinematographischer Roentgenaufnahmen auf einzelnen rasch gewechselten Schichten. Zusatz z. Pat. 225 777. 13. VII. 1909.

239 671. Veifa-Werke, Vereinigte Elektrotechnische Institute, Frankfurt-Aschaffenburg m. b. H., Frankfurt a. M.-Bockenheim: Hochspannungsstromwender für aus einem Wechselstromnetz gespeiste Roentgenapparate. 24. VI. 1910.

240 077. Heddernheimer-Kupferwerk und Süddeutsche Kabelwerke, A.-G., Abt. Süddeutsche Kabelwerke, Mannheim: Verfahren zur Isolierung von Spulen und anderen elektrischen Armaturen. 15. VII. 1910.

240 722. Dr. Albert Bauer, Breslau: Hilfsvorrichtung für die Untersuchung von Körpern mittels Roentgenstrahlen. 28. X. 1910.

241 441. Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., Erlangen: Roentgenröhre, insbesondere für Tiefenbestrahlung mit harten Strahlen. 16. X. 1910.

241 530. L. Elkan Erben, G. m. b. H., Berlin-Westend: Hilfsmittel für

die Untersuchung mit Roentgenstrahlen, bestehend in einem die kontrastbildenden Stoffe inhaltenden Körper. 29. I. 1911.

241 614. Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., Erlangen: Vorrichtung zum Betriebe von Roentgenröhren mit gleichgerichtetem Wechselstrom mittels eines synchron umlaufenden Stromwenders für den Sekundärstrom. 18. IV. 1909.

241 969. Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., Erlangen: Vorrichtung zum Betriebe von Roentgenröhren usw. Zusatz z. Pat. 241 614. 2. III. 1910.

242 049. Hartmann & Braun, A.-G., Frankfurt a. M.: Einführung von Elektroden in Metallgefäße. 10. VIII. 1910.

242 129. Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., Erlangen: Verfahren zur Herstellung von Verstärkungs- und Durchleuchtungsschirmen für photographische Roentgenaufnahmen durch Aufgießen der erstarrungsfähigen Schirmmasse auf eine Unterlage. 2. III. 1911.

242 443. Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., Erlangen: Verfahren und Vorrichtung zur kinematographischen Aufnahme von Roentgenbildern. 23. IV. 1911.

1912.

243 037. Veifa-Werke, Vereinigte Elektrotechnische Institute, Frankfurt a. M.-Aschaffenburg m. b. H., Frankfurt a. M.: Regeneriervorrichtung für Roentgenröhren. 26. II. 1911.

243 121. Veifa-Werke, Vereinigte Elektrotechnische Institute, Frankfurt a. M.-Aschaffenburg m. b. H., Frankfurt a. M.: Verfahren zur Aufnahme mit Roentgenstrahlen unter Verwendung eines Strahlenfilters. 11. III. 1911.

243 171. Dr. Robert Fürstenau, Berlin: Roentgenröhre. 28. VI. 1911.

243 172. Dr. Robert Fürstenau, Berlin: Roentgenröhre. Zusatz zum Pat. 243 171. 5. IX. 1911.

243 256. Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., Erlangen: Vorrichtung zur Aufnahme von Roentgenreihenbildern mit schrittweise fortschaltbarem Bildband, das während der Aufnahme in einem Bildfenster zwischen gegeneinander verschiebbare Platten festgeklemmt und von diesen während der Fortschaltung freigegeben wird. 6. XI. 1910.

243 382. Dr. Gustav Bucky, Berlin: Vorrichtung zum Messen der Projektionsschärfe von Roentgenröhren. 24. III. 1911.

243 383. Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., Erlangen: Kühlvorrichtung für Roentgenröhren mit nach außen ragendem Kühlkörper. 7. II. 1911.

244 063. Veifa-Werke, Vereinigte Elektrotechnische Institute, Frankfurt a. M.-Aschaffenburg m. b. H. und Friedrich

Dessauer, Frankfurt a. M.-Bockenheim: Roentgenröhre mit flüssigkeitsgekühlter Antikathode. 13. VI. 1911.

244 225. Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., Erlangen: Kühlvorrichtung für Roentgenröhren mit nach außen ragendem Kühlkörper. Zusatz z. Pat. 243 383. 13. X. 1911.

244 459. Veifa-Werke, Vereinigte Elektrotechnische Institute, Frankfurt a. M.-Aschaffenburg m. b. H. und Friedrich Dessauer, Frankfurt a. M.: Stromunterbrecher, insbesondere zum Betriebe von Roentgenapparaten. 27. IX. 1910.

245 054. Veifa-Werke, Vereinigte Elektrotechnische Institute, Frankfurt a. M.-Aschaffenburg m. b. H. und Friedrich Dessauer, Frankfurt a. M.: Roentgenröhre mit flüssigkeitsgekühlter Antikathode. Zusatz z. Pat. 244 063. 7. X. 1911.

246 300. C. H. F. Müller, Hamburg: Kühlvorrichtung für Roentgenröhren mit einem in das Kühlgefäß lose einsetzbaren Kühlstab. Zusatz z. Pat. 225 604. 16. XII. 1910.

246 667. Deutsche Telefonwerke, G. m. b. H., Berlin: Vorrichtung zur selbsttätigen Aufrechterhaltung eines bestimmten Gasdrucks in Vakuumröhren. 28. X. 1910.

246 700. Spezialfabrik für Aluminium-Spulen und Leitungen, G. m. b. H., Berlin: Verfahren zur Verhütung einer Beschädigung der Oxydschicht von Aluminiumdrähten bei Herstellung von Aluminiumspulen. 26. X. 1909.

246 720. Heinz Bauer, Berlin: Regeneriervorrichtung für Roentgenröhren. 11. XI. 1910.

247 173. Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., Erlangen: Vorrichtung zur Aufnahme von Roentgenreihenbildern. Zusatz zum Patent 243 256. 22. IX. 1911.

248 581. Dr. Siegfried Loewenthal, Braunschweig: Verfahren zur Sichtbarmachung der ionisierenden Wirkung von Strahlen und Substanzen. 9. IX. 1911.

248 973. Veifa-Werke, Vereinigte Elektrotechnische Institute, Frankfurt-Aschaffenburg m. b. H., Frankfurt a. M.-Bockenheim, und Friedrich Dessauer, Frankfurt a. M.: Maschine zum raschen Wechseln von lichtempfindlichen Platten oder Films, hauptsächlich für Reihenaufnahmen mit Roentgenstrahlen. 10. XII. 1911.

249 197. Eugen Hartmann, Frankfurt a. M.-Bockenheim: Einrichtung zum Parallelschalten mehrerer Wechselstromlichtbogen in Vakumgefäßen. 9. IX. 1911.

249 350. Robert Krause, Berlin: Vorrichtung zur Erzielung einer gleichmäßig dichten Anlage des Verstärkungsschirmes an die

photographische Platte in Roentgenkassetten mittels Luftdrucks. 11. VI. 1911.

250 334. Veifa-Werke, Vereinigte Elektrotechnische Institute, Frankfurt-Aschaffenburg m. b. H. und Friedrich Dessauer, Frankfurt a. M.: Verfahren für Momentaufnahmen mit Roentgenstrahlen. 8. V. 1909.

251 345. Carl Beez, Berlin: Verfahren zur Messung der Roentgenstrahlenenergie. 20. IV. 1911.

251 346. C. H. F. Müller, Hamburg: Kühlvorrichtung für Roentgenröhren mit einem in das Kühlgefäß lose einsetzbaren Kühlstab. Zusatz z. Pat. 225 604. 19. II. 1911.

251 950. Dr. Robert Pohl, Berlin, und Dr. James Franck, Charlottenburg: Verfahren zur Regenerierung hartgewordener elektrischer Vakuumröhren, insbesondere Roentgenröhren. 19. XI. 1910.

252 000. Robert Krause, Berlin: Vorrichtung zum Andrücken des Verstärkungsschirmes an die photographische Platte in Roentgenkassetten mittels Luftdrucks. Zusatz z. Pat. 249 350. 10. X. 1911.

252 526. Galleti's Wireles Telegraph & Telephon Company Limited, London: Schaltungsweise zum Schließen elektrischer Stromkreise zwischen feststehenden Elektroden über eine Funkenstrecke. 4. V. 1911.

252 527. Anderson Winding Machine Company, Jersey City, V. St. A.: Vorrichtung zum maschinellen Aufwickeln von Drahtspulen. 13. XII. 1910.

252 769. Dr. Walther Burstyn, Berlin: Unterbrecher für Funkeninduktoren. 27. X. 1911.

253 001. Richard Seifert u. Co., Hamburg: Fluoreszierender Schirm insbesondere für Durchleuchtung mit Roentgenstrahlen. 3. X. 1911.

253 506. Heinz Bauer, Berlin: Kathode für Roentgenröhren. 11. V. 1912.

254 177. Veifa-Werke, Vereinigte Elektrotechnische Institute, Frankfurt-Aschaffenburg m. b. H. und Friedrich Dessauer, Frankfurt a. M.: Apparat zur Momentaufnahme mit Roentgenstrahlen. Zusatz z. Pat. 250 334. 18. VIII. 1909.

254 192. Spezialfabrik für Aluminium-Spulen u. Leitungen. G. m. b. H., Berlin: Verfahren zur Isolierung von Spulen und Spulenlagen durch verkleinerte Isolierstoffe. 22. XI. 1910.

254 588. Robert von Lieben, Eugen Reisz und Siegmund Strauß, Wien: Verfahren zur Erhöhung der Lebensdauer, Gleichmäßigkeit und Oekonomie von Entladungsröhren mit glühender Kathode. 13. VII. 1911.

254 946. Albert Kühne und Hermann Bochert, Berlin: Roentgenröhre mit einer den gläsernen Rohransatz der Antikathode umgebenden Metallschicht. 21. XI. 1911.

255 574. Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., Erlangen: Verfahren und Einrichtung zur Roentgenaufnahme sich bewegender Körper und zur Bestimmung ihrer Bewegungsphase zur Zeit der Aufnahme. 10. I. 1909.

256 534. Dr. Julius Edgar Lilienfeld, Leipzig: Verfahren zur Zeugung von Roentgenstrahlen beliebig einstellbaren Härtegrades unabhängig vom Vakuum. 11. X. 1911.

256 814. Martin Stühler, Köln: Vorrichtung zur Erzielung von Roentgenaufnahmen sich periodisch bewegender Körper in deren Grenzstellungen. 27. X. 1911.

258 411. „Polyphos", Elektrizitäts-Gesellschaft m. b. H., München: Verfahren zur Herstellung von Reihenaufnahmen stereoskopischer Roentgenbilder mit Hilfe eines roentgenkinematographischen Aufnahmeapparates. 14. IV. 1912.

258 484. Physikalisches Laboratorium, Mechanisch-Technische Werkstätte, Hans Thoma, G. m. b. H., München: Einrichtung zur Feststellung des Zeitpunktes der Roentgenaufnahmen- oder Durchleuchtung in einem Elektrokardiogramm. 2. IV. 1912.

259 369. Siemens & Halske A.-G., Berlin: Einrichtung zur Regelung der Belastung von Roentgenröhren, welche von einer Wechselstromquelle unter Einschaltung eines Hochspannungsgleichrichters gespeist werden. 31. V. 1911.

259 695. Roentgen-Manufacturing Co., Philadelphia (V. St. A.): Gleichrichter für Roentgenapparate. 14. VII. 1908.

259 714. Dr. Emil Grunmach, Berlin: Hilfsmittel zur Untersuchung mittels Roentgenstrahlen. 2. V. 1911.

259 818. Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., Erlangen: Schaltungseinrichtung zum Ausgleich von Stromstärkeänderungen in an eine gemeinsame Wechselstromquelle angeschlossenen Stromverbrauchskreisen durch aufeinander einwirkende, in die Stromkreise eingeschaltete Induktionswicklungen für elektromedizinische Zwecke. 7. II. 1911.

259 880. Dr. Gustav Bucky und Anton Verständig, Berlin: Ablesevorrichtung für Roentgenstrahlendosimeter mit einem vor den Roentgenstrahlen bestrahlten Testblättchen. 12. XI. 1912.

260 069. Chem.-Techn. Laboratorium Dr. G. Robisch, München: Schattenbildender Körper für Roentgenuntersuchung; Zusatz z. Pat. 238 600. 29. VIII. 1912.

260 147. „Radiologie", G. m. b. H., Berlin: Roentgenröhre für starke Beanspruchungen. 29. VIII. 1912.

260 257. „Polyphos" Elektrizitäts-Ges. m. b. H., München: Vorrichtung zur Herstellung von kinematographischen Roentgen-

aufnahmen auf einzelnen rasch gewechselten Schichten; Zusatz z. Pat. 225 777. 3. I. 1909.

260 904. Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., Berlin: Wechselstrom-Gleichrichter mit mehreren Paaren diametral angeordneter feststehender Kontaktbogen. 14. II. 1912.

261 016. Veifa-Werke, Vereinigte Elektrotechnische Institute, Frankfurt-Aschaffenburg m. b. H. und Wilhelm Berger, Frankfurt a. M.: Vorrichtung zum Herstellen von stereoskopischen Roentgenaufnahmen mittels einer Plattenfallmaschine. 20. IX. 1912.

261 402. Otto Helm, Königsberg i. Pr.: Wassergekühlte Antikathode für Roentgenröhren, die mit dem räumlich von ihr getrennten Kühlmittelbehälter durch ein Rohrsystem verbunden ist. 7. XII. 1911.

261 761. „Polyphos" Elektrizitäts-Ges. m. b. H., München: Verfahren zur Herstellung von teilweise sich deckenden Roentgen-Serienbildern, insbesondere für Aufnahmen des menschlichen und tierischen Körpers. 24. IV. 1912.

261 914. Dr. Claudius Regaud, Lyon: Vorrichtung zur Regelung des Härtegrades von Roentgenröhren. 25. IV. 1911.

261 958. Heinz Bauer, Berlin: Regeneriervorrichtung für Roentgenröhren. 11. XI. 1910.

262 079. Siemens & Halske A.-G., Berlin: Verfahren zur Erzeugung von Momentroentgenaufnahmen. 22. IV. 1911.

263 053. Siemens & Halske A.-G., Berlin: Verfahren zur Erzeugung von Roentgenstrahlen mittels hochgespannter, der Röhre nur kathodisch zugeführter Teslaströme. 4. III. 1910.

263 254. Koch & Sterzel, Dresden: Quecksilberunterbrecher zum Betriebe von Roentgenröhren mit rhythmischen Ruhepausen und veränderlichem Arbeitsbereich der Kontaktteile. 9. VIII. 1912.

263 401. Heinz Bauer, Berlin: Antikathodenspiegel für Roentgenröhren. 15. IX. 1912.

263 402. Charles Artur Friedrich, New York: Verfahren zum Evakuieren von Vakuumröhren, insbesondere Roentgenröhren. 20. I. 1912.

263 420. Siemens & Halske A.-G., Berlin: Verfahren zur Herstellung von Momentroentgenaufnahmen. 26. IV. 1911.

264 550. Joseph Robert Leeson, Boston: Spule für elektrische Apparate und Wickelvorrichtung zur Herstellung solcher Spulen. 1. XI. 1912.

264 553. Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft, Berlin: Entladungsröhre mit glühender Kathode und eingeschlossenem dampfbildendem Körper. 20. IX. 1912.

264 554. Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft, Berlin:

Entladungsröhre mit glühender Kathode und eingeschlossenem dampflieferndem Körper. 15. X. 1912.

264 641. Veifa-Werke, Vereinigte Elektrotechnische Institute, Frankfurt-Aschaffenburg m. b. H., Frankfurt a. M.: Einrichtung zum Betriebe von Roentgenröhren und ähnlichen Hochspannungsapparaten mit Wechselstromimpulsen gleicher Richtung. 7. III. 1912.

264 676. Willy Wolff, Berlin-Weißensee: Unterteilte Spule von rechteckiger Form für elektrische Apparate. 16. II. 1912.

264 682. Otto Helm, Königsberg i. Pr.: Wassergekühlte Antikathode für Roentgenröhren. 7. XII. 1911.

264 683. Otto Helm, Königsberg i. Pr.: Wassergekühlte Antikathode für Roentgenröhren; Zusatz z. Pat. 264 682. 15. VI. 1912.

265 593. Veifa-Werke, Vereinigte Elektrotechnische Institute, Frankfurt-Aschaffenburg G. m. b. H., Frankfurt a. M.: Roentgenröhre besonders für Therapiezwecke. 10. IV. 1913.

265 646. Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., Berlin: Meßgerät, insbesondere für die quantitative Bestimmung von Ionisationswirkungen (z. B. von Roentgenstrahlen). 4. X. 1912.

265 818. „Polyphos“ Elektrizitäts-Gesellschaft m. b. H., München: Vorrichtung zur Herstellung kinematographischer Roentgenaufnahmen auf einzelnen rasch gewechselten Schichten; Zusatz z. Pat. 225 777. 3. I. 1909.

265 916. Veifa-Werke, Vereinigte Elektrotechnische Institute, Frankfurt-Aschaffenburg m. b. H., Frankfurt a. M., und Dr. Paul Hoffmann, Bad Warmbrunn i. Schl.: Mittel zur Kontrastbildung bei Roentgendurchleuchtungen. 7. V. 1913.

266 442. Siemens & Halske A.-G., Berlin: Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung stereoskopischer Roentgenaufnahmen. 30. III. 1913.

266 715. Reiniger, Gebbert & Schall, A.-G., Berlin: Verfahren zum Betriebe von Roentgenröhren von einer Wechselstromquelle aus. 4. X. 1912.

266 717. Dr. Eugen Hartmann, Frankfurt a. M.: Gasdichte Elektrodeneinführung; Zusatz z. Pat. 225 497. 25. X. 1912.

268 107. Dr. Julius Edgar Lilienfeld, Leipzig: Vorrichtung zum Betreiben v. Entladungsröhren; Zusatz z. Pat. 256 534. 22. XII. 1911.

268 108. Dr. Julius Edgar Lilienfeld, Leipzig: Verfahren zur Messung der Härte von Roentgenröhren. 4. III. 1913.

268 260. Siemens & Halske A.-G., Berlin: Verfahren zur Vornahme von Dauerbestrahlungen mit Roentgenröhren großer Härte. 3. X. 1912.

268 290. Dr. Frederick A. Lindemann, Berlin: Vorrichtung zur selbsttätigen Regelung des Gasdrucks in Vakuum- oder Roentgenröhren. 3. XII. 1912

268 597. Dr. Julius Edgar Lilienfeld, Leipzig: Roentgenröhre. Zusatz z. Pat. 256 534. 9. I. 1912.

268 598. Dr. Julius Edgar Lilienfeld, Leipzig: Roentgenröhre. Zusatz z. Pat. 256 534. 27. X. 1912.

Namenregister.*)

*) Die Ziffern bezeichnen die Seitenzahlen. Auf einer Seite öfters vorkommende Namen sind durch die hinter der betr. Seitenzahl in Klammer beigefügte Zahl der Aufnahmen gekennzeichnet.

